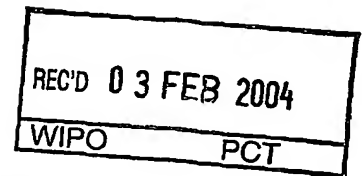


PCT/JP 2004/000080

08.1.2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2003年 1月 9日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2003-003773  
[ST. 10/C]: [JP 2003-003773]

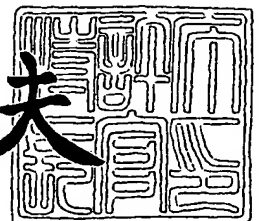
出 願 人  
Applicant(s): ソニー株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年12月 9日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願

【整理番号】 0290760806

【提出日】 平成15年 1月 9日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C01B 31/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 ダラム パル ゴサイン

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 梶浦 尚志

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 丸山 竜一郎

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 白石 誠司

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 黄 厚金

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 角野 宏治

## 【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 和智 滋明

## 【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 阿多 誠文

## 【特許出願人】

【識別番号】 000002185

【氏名又は名称】 ソニー株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100098785

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 藤島 洋一郎

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 019482

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9708092

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電界電子放出素子の製造方法および電界電子放出素子、ならびに表示装置の製造方法および表示装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 変調された熱分布による溶融を利用して、筒状炭素分子の触媒機能を有する金属を基板に配置する触媒配置工程と、

筒状炭素分子を成長させて陰極を形成する陰極形成工程と

を含むことを特徴とする電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 2】 前記陰極形成工程において、前記基板と電極とを対向配置して前記基板と前記電極との間に電界を印加する

ことを特徴とする請求項 1 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 3】 前記基板は、前記金属よりなる平面状のパターンを有することを特徴とする請求項 1 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 4】 前記基板は、少なくとも先端部が前記金属よりなる突起のパターンを有する

ことを特徴とする請求項 1 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 5】 前記陰極形成工程において、前記基板を二枚対向配置し、前記突起のパターンどうしを向かい合わせて、前記二枚の基板の間に電界を印加する

ことを特徴とする請求項 4 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 6】 前記電極として、前記基板のパターンに対応する突起のパターンが形成されたものを用い、前記基板のパターンと前記電極の突起のパターンとを向かい合わせて対向配置する

ことを特徴とする請求項 2 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 7】 前記金属の配置される間隔は 100 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 8】 前記金属の配置される間隔は 50 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 9】 前記触媒配置工程は、



平坦電極の表面に、所望のパターンに応じて変調された熱分布を用いて突起のパターンを形成する突起電極形成工程と、

触媒機能を有する金属を含む触媒溶液の中において、前記突起電極と導電性の基板との間に電界を印加して前記金属を還元し析出させることにより、前記基板上に、触媒機能を有する金属よりなり前記突起電極に対応したパターンを形成する還元析出工程と

を含むことを特徴とする請求項 1 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 10】 前記基板の表面に、前記金属を回避して分離溝を形成する分離溝形成工程を更に含む

ことを特徴とする請求項 1 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 11】 前記分離溝を、エネルギービームの照射により形成することを特徴とする請求項 10 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 12】 前記分離溝を、前記エネルギービームを一次元方向または二次元方向に回折させることにより形成する

ことを特徴とする請求項 11 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 13】 前記分離溝を、平行線状または格子状に形成することを特徴とする請求項 10 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 14】 前記陰極に対応して引き出し電極を形成する引き出し電極形成工程を更に含む

ことを特徴とする請求項 1 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 15】 前記引き出し電極形成工程を、前記触媒配置工程と前記陰極形成工程との間に行う

ことを特徴とする請求項 14 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 16】 前記引き出し電極形成工程は、  
前記基板の上に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、  
前記絶縁膜の上に導電性膜を形成する導電性膜形成工程と、  
前記絶縁膜および前記導電性膜に前記陰極各々に対向して開口部を形成する開口部形成工程と

を含むことを特徴とする請求項 14 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 17】 前記筒状炭素分子の先端を所定の平面内に形成すると共に前記先端を開放端とする高さ均一化工程を更に含む

ことを特徴とする請求項 1 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 18】 前記高さ均一化工程において、少なくとも前記筒状炭素分子の周囲に固定層を形成して前記筒状炭素分子を固定したのち、前記固定層と共に前記筒状炭素分子を研磨する

ことを特徴とする請求項 17 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 19】 前記研磨を、化学機械研磨により行う

ことを特徴とする請求項 18 記載の電界電子放出素子の製造方法。

【請求項 20】 基板と、

この基板に所望のパターンで配置された 1 本または複数本の筒状炭素分子を有する複数の陰極と、

前記基板の表面に形成され、前記陰極を互いに分離する分離溝と

を備えたことを特徴とする電界電子放出素子。

【請求項 21】 前記筒状炭素分子は、先端が所定の平面内に形成され、かつ前記先端が開放端となっている

ことを特徴とする請求項 20 記載の電界電子放出素子。

【請求項 22】 前記陰極に対応して引き出し電極を備えた

ことを特徴とする請求項 20 記載の電界電子放出素子。

【請求項 23】 変調された熱分布による溶融を利用して、筒状炭素分子の触媒機能を有する金属を基板に配置し、その触媒機能を有する金属を利用して成長させられた筒状炭素分子を有する陰極を備えた

ことを特徴とする電界電子放出素子。

【請求項 24】 電界電子放出素子と、この電界電子放出素子から放出された電子の衝突に応じて発光する発光部とを備えた表示装置の製造方法であって、

前記電界電子放出素子を形成する工程は、

変調された熱分布による溶融を利用して、筒状炭素分子の触媒機能を有する金属を基板に配置する触媒配置工程と、

筒状炭素分子を成長させて陰極を形成する陰極形成工程と

を含むことを特徴とする表示装置の製造方法。

【請求項 25】 電界電子放出素子と、この電界電子放出素子から放出された電子の衝突に応じて発光する発光部とを備えた表示装置であって、

前記電界電子放出素子は、

基板と、

この基板に所望のパターンで配置された 1 本または複数本の筒状炭素分子を有する複数の陰極と、

前記基板の表面に形成され、前記陰極を互いに分離する分離溝と

を備えたことを特徴とする表示装置。

【請求項 26】 電界電子放出素子と、この電界電子放出素子から放出された電子の衝突に応じて発光する発光部とを備えた表示装置であって、

前記電界電子放出素子は、変調された熱分布による溶融を利用して、筒状炭素分子の触媒機能を有する金属を基板に配置し、その触媒機能を有する金属を利用して成長させられた筒状炭素分子を有する陰極を備えた

ことを特徴とする表示装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、カーボンナノチューブ等の筒状炭素分子を用いた陰極を有する電界電子放出素子の製造方法およびその方法により得られた電界電子放出素子に関する。また、本発明は、この電界電子放出素子を用いた表示装置の製造方法および表示装置に関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

近年のナノテクノロジーの進歩は著しく、なかでもカーボンナノチューブ等の分子構造体は、熱伝導性、電気伝導性、機械的強度などで優れた特性を持つ安定した材料であることから、トランジスタ、メモリ、電界電子放出素子など幅広い用途への応用が期待されている。

##### 【0003】

例えば、カーボンナノチューブの用途の1つとして、冷陰極電界電子放出（以下、「電界電子放出」という）を実現するのに好適であることが知られている（例えば、非特許文献1参照。）。電界電子放出とは、真空中に置かれた金属または半導体に所定のしきい値以上の大きさの電界を与えると、金属または半導体の表面近傍のエネルギー障壁を電子が量子トンネル効果により通過し、常温においても真空中に電子が放出されるようになる現象である。

#### 【0004】

電界電子放出の原理を画像表示に応用したFED（Field Emission Display）は、高輝度、低消費電力、薄型などの特徴を有し、従来の陰極線管（Cathode Ray Tube；CRT）に代わる表示装置として開発が進められている（例えば、特許文献1ないし特許文献7参照。）。FEDは、電子を放出する陰極が形成されたカソードパネルと、放出された電子の衝突により励起されて発光する蛍光体層が塗布された陽極が形成されたアノードパネルとを対向配置して一体化し、内部を高真空状態としたものが一般的な構成である。ただし、この構成では、カソードパネルとアノードパネルとの距離を接近して設けることが困難であり、カソードパネルとアノードパネルとの間に高い電圧を印加する必要がある。そのため、カソードパネルとアノードパネルとの間に更に引き出し電極（ゲート電極）を設けることにより、陰極と引き出し電極との距離を接近させ、両電極の間に低い電圧を印加して電界電子放出を生じさせるようにしている。

#### 【0005】

図58は、このような従来のFEDの一構成例を表す断面図である。なお、この例においては、陰極の構造の種類として、その形状が円錐形状であるスピント（Spindt：人名）型と呼ばれる構造のものを表している（例えば、非特許文献2および特許文献1参照）。

#### 【0006】

このFEDは、カソードパネル1100と、このカソードパネル1100に対向配置されたアノードパネル1200とを備えている。カソードパネル1100は、カソード電極1110が形成された基板1120と、絶縁膜1130を介してカソード電極1110に対向配置された引き出し電極1140とを有している

。カソード電極 1110 および引き出し電極 1140 は、それぞれ複数本ずつ形成されており、各引き出し電極 1140 は、カソード電極 1110 に直交するように対向配置されている。基板 1120 上において、引き出し電極 1140 に対向する側のカソード電極 1110 の表面には、複数の陰極 1150 が配置されている。

#### 【0007】

各引き出し電極 1140 には、陰極 1150 から放出された電子  $e^-$  が通過可能な大きさの開口部 1160 が、各陰極 1150 に対応して複数設けられている。また、各引き出し電極 1140 には、各引き出し電極 1140 に循環的に走査電圧を印加する図示しないスキンドライバが電氣的に接続されている。一方、各カソード電極 1110 には、画像信号に応じて各カソード電極 1110 に選択的に電圧を印加する図示しないデータドライバが電氣的に接続されている。

#### 【0008】

各陰極 1150 は、引き出し電極 1140 とカソード電極 1110 とが交叉する位置に対応してマトリクス状に配置されると共に、底面が対応するカソード電極 1110 に電氣的に接続されている。陰極 1150 は、所定の電界を選択的に与えることによって、トンネル効果により先端部から電子放出が生じるようになっている。なお、通常、FED では、所定数（例えば、1000 個）の陰極 1150 の集まりが 1 画素に対応している。

#### 【0009】

アノードパネル 1200 は、ガラス材料等で構成される光学的に透明な透明基板 1210 と、この透明基板 1210 のカソードパネル 1100 に対向する面側に配置されたアノード電極 1220 とを備えている。アノード電極 1220 は、カソード電極 1110 に対応して複数本形成されている。また、アノード電極 1220 の透明基板 1210 側の表面には、電子  $e^-$  の入射に応じて発光する蛍光体が塗布されることにより、蛍光体膜 1230 が形成されている。なお、アノード電極 1220 を ITO (Indium-Tin Oxide) などの透明導電性材料により構成し、蛍光体膜 1230 をアノード電極 1220 のカソードパネル 1100 側の表面に形成することも可能である。

## 【0010】

このような構成の FED においては、引き出し電極 1140 とカソード電極 1110 との間に選択的に電圧を印加すると、その交点に位置する陰極 1150 において電界電子放出が起こり、電子  $e^-$  がアノード電極 1220 に向けて放出される。陰極 1150 から放出された電子  $e^-$  は、アノード電極 1220 に設けられた図示しない微細な孔を通過して蛍光体膜 1230 に衝突し、蛍光体を発光させる。この蛍光体の発光により、所望の画像表示がなされる。

## 【0011】

ところで、FED においては、更に低い電圧で電界電子放出を生じさせるため、陰極の先端を細く鋭く尖らせて局所的に電界強度を強める種々の試みがなされており、カーボンナノチューブはそのような試みにおいて盛んに利用されている（例えば、非特許文献 1 参照。）。例えば、熱 CVD (Chemical Vapor Deposition ; 化学気相成長) 法によりシリコン (Si) チップの先端に単層カーボンナノチューブを成長させたものを陰極として用いた FED が提案されている（例えば、非特許文献 3 参照。）。また、従来の方法によりシリコンエミッタを形成したのち、カーボンナノチューブを形成するための金属触媒からなる膜を形成し、グリッド電極上の触媒の膜をエッチバック法で除去して、エミッタの先端部のみに熱 CVD 法でカーボンナノチューブを成長させた報告がある（非特許文献 4 参照。）。

## 【0012】

## 【特許文献 1】

特開 2002-203473 号公報

## 【特許文献 2】

特開 2002-197965 号公報

## 【特許文献 3】

特開 2002-150922 号公報

## 【特許文献 4】

特開 2001-23506 号公報

## 【特許文献 5】

特開 2000-285795 号公報

【特許文献 6】

特開 2000-123713 号公報

【特許文献 7】

特開 2000-67736 号公報

【非特許文献 1】

斎藤弥八, 表面化学, 1998 年, 第 19 卷, 第 10 号, p. 680-686

【非特許文献 2】

C. A. スピント (C. A. Spindt)、外 3 名, ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス (Journal of Applied Physics), (米国), 1976 年, 第 47 巻, p 5248-5263

【非特許文献 3】

第 49 回応用物理学関係連合講演会, 講演予稿集, 29 p-K-7

【非特許文献 4】

日刊工業新聞, 平成 14 年 4 月 11 日付記事, 「CNT のフィールドエミッター 4 ボルト低電圧で電子放出」

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

FED の陰極としてカーボンナノチューブを形成するには、遷移金属等からなる触媒の微細なパターンを形成し、それを用いてカーボンナノチューブを微細な間隔で規則正しく整列させる技術が必須とされる。しかしながら、従来では、ある程度の量産性を達成できる技術としてはフォトリソグラフィしかなかった。フォトリソグラフィにより金属触媒の微細なパターンを形成するには、エネルギービームの波長を短くするしか方法がなく、現在の技術ではこれ以上の短波長化は困難である。そのため、フォトリソグラフィにより遷移金属等のパターンを形成する場合には、遷移金属パターンの寸法およびその間隔は、エネルギービームの波長で定まり、現在の技術では  $0.05\ \mu\text{m}$  ( $50\ \text{nm}$ ) 以下にすることができず、また、パターンの間隔 (ピッチ) は  $100\ \text{nm}$  以下にすることができない。

すなわち、従来の手法では、金属触媒等のより微細なパターンを形成するには限界があるという問題があった。

#### 【0014】

更に、従来のカーボンナノチューブを用いた陰極では多数のカーボンナノチューブが接近して配置されているので、各カーボンナノチューブの表面における電界強度が著しく低下してしまうという問題があった。そのため、カーボンナノチューブの表面の電界強度を高くするためにはカソード電極と引き出し電極またはアノード電極との間に高い電圧を印加する必要がある、低電圧化が困難であった。

#### 【0015】

加えて、従来では、陰極を構成する多数のカーボンナノチューブの形状および成長方向が不均一であるので、放出される電子の量が不均一となり、輝度のばらつきが生じるという問題があった。

#### 【0016】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その第1の目的は、筒状炭素分子をより微細な間隔で規則正しく配列させた陰極を有する電界電子放出素子を量産可能とする電界電子放出素子の製造方法を提供することにある。

#### 【0017】

本発明の第2の目的は、筒状炭素分子がより微細な間隔で規則正しく配列された陰極を有し、FED等の製造に好適な電界電子放出素子を提供することにある。

#### 【0018】

本発明の第3の目的は、筒状炭素分子がより微細な間隔で規則正しく配列された陰極を有する電界電子放出素子を用いて、より高精細な画像を鮮明に表示可能なファインピッチの表示装置を量産可能とする表示装置の製造方法およびそれにより得られた表示装置を提供することにある。

#### 【0019】

#### 【課題を解決するための手段】

本発明による電界電子放出素子の製造方法は、変調された熱分布による溶融を



利用して、筒状炭素分子の触媒機能を有する金属を基板に配置する触媒配置工程と、筒状炭素分子を成長させて陰極を形成する陰極形成工程とを含むものである。

#### 【0020】

本発明による第1の電界電子放出素子は、基板と、この基板に所望のパターンで配置された1本または複数本の筒状炭素分子を有する複数の陰極と、基板の表面に形成され、陰極を互いに分離する分離溝とを備えたものである。

#### 【0021】

本発明による第2の電界電子放出素子は、変調された熱分布による溶融を利用して、筒状炭素分子の触媒機能を有する金属を基板に配置し、その触媒機能を有する金属を利用して成長させられた筒状炭素分子を有する陰極を備えたものである。

#### 【0022】

本発明による表示装置の製造方法は、電界電子放出素子と、この電界電子放出素子から放出された電子の衝突に応じて発光する発光部とを備えた表示装置を製造するものであって、電界電子放出素子を形成する工程は、変調された熱分布による溶融を利用して、筒状炭素分子の触媒機能を有する金属を基板に配置する触媒配置工程と、筒状炭素分子を成長させて陰極を形成する陰極形成工程とを含むものである。

#### 【0023】

本発明による第1の表示装置は、電界電子放出素子と、この電界電子放出素子から放出された電子の衝突に応じて発光する発光部とを備えたものであって、電界電子放出素子は、基板と、この基板に所望のパターンで配置された1本または複数本の筒状炭素分子を有する陰極と、基板の表面に形成され、陰極を互いに分離する分離溝とを備えたものである。

#### 【0024】

本発明による第2の表示装置は、電界電子放出素子と、この電界電子放出素子から放出された電子の衝突に応じて発光する発光部とを備えたものであって、電界電子放出素子は、変調された熱分布による溶融を利用して、筒状炭素分子の触

媒機能を有する金属を基板に配置し、その触媒機能を有する金属を利用して成長させられた筒状炭素分子を有する陰極を備えたものである。

#### 【0025】

本発明による電界電子放出素子の製造方法および第2の電界電子放出素子、ならびに表示装置の製造方法および第2の表示装置では、変調された熱分布による溶融を利用して、筒状炭素分子の触媒機能を有する金属が基板に配置される。そのうち、筒状炭素分子が成長して陰極が形成される。

#### 【0026】

本発明による第1の電界電子放出素子および第1の表示装置では、基板上に所望のパターンで配置された1本または複数本の筒状炭素分子を有する複数の陰極が形成される。これらの陰極は分離溝によって互いに分離される。

#### 【0027】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

#### 【0028】

##### [第1の実施の形態]

まず、図1ないし図6を参照して、本発明の第1の実施の形態に係る電界電子放出素子の製造方法および表示装置の製造方法について説明する。本実施の形態の方法は、カーボンナノチューブを用いた陰極を有する電界電子放出素子を形成するものであり、変調された熱分布による溶融を利用して、カーボンナノチューブの触媒機能を有する金属を配置する「触媒配置工程」と、カーボンナノチューブを成長させて陰極を形成する「陰極形成工程」とを含むものである。得られた電界電子放出素子は、更に、基板の表面に、触媒配置工程で配置された金属を回避して分離溝を形成する「分離溝形成工程」を経て、例えばFEDのカソードパネルとして利用される。

#### 【0029】

更に、本実施の形態では、触媒配置工程は、素材基板10の表面に所望のパターンに応じて変調された熱分布11を与え、素材基板10の表面を溶融させる「溶融工程」と、素材基板10の表面を放熱させることにより、熱分布11に応じ

た位置に、すなわち所望のパターンで第2の物質を析出させる「析出工程」とを含んでいる。

### 【0030】

(熔融工程)

まず、図1を参照して熔融工程を説明する。ここで、素材基板10は第1の物質により構成され、この第1の物質中に析出材料として第2の物質が添加されたものである。なお、第2の物質は、偏析係数が正のもの、すなわち、第1の物質中に添加されることにより第1の物質の融点を低下させるもので、加熱により熔融されたのち冷却過程において凝固する際に熔融領域に残る性質を有するものである。本実施の形態では、第1の物質からなる素材基板10はシリコン(Si)基板であり、第2の物質として金属触媒としての鉄(Fe)を用いるものとする。

### 【0031】

素材基板10は、厚さが例えば40nmであり、例えばシリコンにより構成された支持体10Aにより保持されている。なお、素材基板10が十分な厚さを有している場合には、支持体10Aは不要である。

### 【0032】

第1の物質としては、上述のシリコンに限らず、その他の半導体材料、例えばゲルマニウム(Ge)などが挙げられるが、その他、金属材料でもよく、例えば、タンタル(Ta)、タングステン(W)または白金(Pt)などの高融点金属や、それらの合金を用いてもよい。

### 【0033】

第2の物質は、カーボンナノチューブを形成するための金属触媒としては、上述の鉄(Fe)の他、バナジウム(V)、マンガン(Mn)、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)、モリブデン(Mo)、タンタル(Ta)、タングステン(W)または白金(Pt)が挙げられる。また、イットリウム(Y)、ルテチウム(Lu)、ホウ素(B)、銅(Cu)、リチウム(Li)、シリコン(Si)、クロム(Cr)、亜鉛(Zn)、パラジウム(Pd)、銀(Ag)、ルテニウム(Ru)、チタン(Ti)、ランタン(La)、セリウム(Ce)、プラセオジ

ム (Pr), ネオジウム (Nd), テルビウム (Tb), ジスプロシウム (Dy), ホルミウム (Ho) またはエルビウム (Er) を用いてもよい。なお、以上の物質は2種以上同時に使用してもよく、また、これら物質の2種以上からなる化合物を用いてもよい。また、金属フタロシアン化合物、メタセロン、金属塩を用いることも可能である。更に、酸化物あるいはシリサイドであってもよい。

#### 【0034】

加えて、用途によっては、第2の物質は、アルミニウム (Al), シリコン (Si), タンタル (Ta), チタン (Ti), ジルコニウム (Zr), ニオブ (Nb), マグネシウム (Mg), ホウ素 (B), 亜鉛 (Zn), 鉛 (Pb), カルシウム (Ca), ランタン (La), ゲルマニウム (Ge) などの金属および半金属などの元素の、窒化物、酸化物、炭化物、フッ化物、硫化物、窒酸化物、窒炭化物、または酸炭化物などからなる誘電体材料を用いることが可能である。具体的には、 $AlN$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Si_3N_4$ ,  $SiO_2$ ,  $MgO$ ,  $Y_2O_3$ ,  $MgAl_2O_4$ ,  $TiO_2$ ,  $BaTiO_3$ ,  $SrTiO_3$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $SiC$ ,  $ZnS$ ,  $PbS$ ,  $Ge-N$ ,  $Ge-N-O$ ,  $Si-N-O$ ,  $CaF_2$ ,  $LaF$ ,  $MgF_2$ ,  $NaF$ ,  $TiF_4$  などである。更にまた、これらの材料を主成分とする材料や、これらの材料の混合物、例えば  $AlN-SiO_2$  を用いることも可能である。加えてまた、鉄 (Fe), コバルト (Co), ニッケル (Ni), ガドリニウム (Gd) 等の磁性体材料を用いることもできる。

#### 【0035】

熱分布11は、素材基板10の表面温度がエネルギービーム12の照射により空間的に変調されて、高温領域11Hと低温領域11Lとが周期的に形成されたものである。エネルギービーム12は、波長および位相の揃った平行光であり、本実施の形態では、高出力を得るため、例えばXeClエキシマレーザを用いる。

#### 【0036】

本実施の形態では、熱分布11は、エネルギービーム12を回折格子13で回折させることにより与えられる。回折格子13は、エネルギービーム12を回折させてエネルギー量を空間的に変調するものであり、例えば、光学ガラス板に、

直線状の平行な溝 13A が一定の周期間隔 P で一次元方向に形成されたものである。本実施の形態では、例えば、石英材料よりなる板に直線状の平行な溝 13A が例えば  $1\ \mu\text{m}$  の周期間隔 P で一次元方向に配列され、エネルギービーム 12 のエネルギー量を、溝 13A が配列されている方向に沿って一次元方向に変調するようになっている。なお、回折格子 13 は必ずしも溝などの凹凸を形成したものに限られず、例えば、エネルギービーム 12 の透過部分と非透過部分とが印刷により形成されたものであってもよい。

### 【0037】

このような回折格子 13 を用いることにより、高温領域 11H は、溝 13A の延長方向に沿った直線状に形成されると共に、溝 13A の配列されている方向に沿って一次元方向に配列される。熱分布 11 の空間的周期 T、すなわち高温領域 11H の間隔（ピッチ）は、回折格子 13 の周期間隔 P およびエネルギービーム 12 の波長  $\lambda$  に応じて定まる。波長  $\lambda$  を小さくするほど、または、周期間隔 P を微細にするほど熱分布 11 の空間的周期 T を微細化することができる。

### 【0038】

エネルギービーム 12 のエネルギー量は、低温領域 11L において素材基板 10 の表面が熔融する温度となるように設定される。これにより、素材基板 10 の表面の全体を熔融させることができる。このとき、エネルギービーム 12 としてエキシマレーザを用いると、パルス発光の照射回数によりエネルギー量の制御を行うことができる。本実施の形態では、例えば、エネルギービーム 12 のエネルギー量を  $350\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 、パルス照射回数を 10 回とする。

### 【0039】

#### （析出工程）

次に、図 2 を参照して析出工程を説明する。すなわち、熔融工程において素材基板 10 の表面を熔融させたのち、エネルギービーム 12 の照射を止めると、素材基板 10 の表面の温度は徐々に低下して凝固するが、このとき、第 2 の物質（Fe）は、高温領域 11H に移動し、更に高温領域 11H の中で最後に凝固する部分に析出する。こうして、高温領域 11H に対応する位置に第 2 の物質が析出し、ほぼ平面状の析出領域 14 が形成される。以上により、析出領域 14 のパタ

ーンを有する基板 15 が得られる。

#### 【0040】

ここで、「平面状」とは、その基板 15 の表面からの高さが、表面のラフネス程度、例えば 1 nm 未満であり実質的に平坦な場合をいう。

#### 【0041】

析出領域 14 は、高温領域 11 H が溝 13 A に対応して一次元方向に配列された直線状であるので、これに対応して、一次元方向に配列された直線状のパターンとして形成される。析出領域 14 の幅（線幅）W、すなわち熱分布 11 の変調方向における析出領域 14 の寸法は、素材基板 10 における第 2 の物質（鉄）の含有量により定まり、第 2 の物質の含有量が多いほど、析出領域 14 の幅 W は大きくなる。析出領域 14 の幅 W は、原理的には第 2 の物質の原子の大きさより大きい任意の値をとり得るものであり、素材基板 10 における第 2 の物質の含有量を制御することにより従来のフォトリソグラフィ技術では不可能であった 50 nm 未満を実現することができる。

#### 【0042】

析出領域 14 の幅 W の具体的な値は、第 2 の物質の材料および析出領域 14 の用途によって定められるが、例えば後述する図 3 に示したように析出領域 14 に析出した鉄を触媒として複数のカーボンナノチューブ 16 が直線状に配列された陰極 17 を形成する場合には、析出領域 14 の幅 W は、0.4 nm 以上 50 nm 未満であることが好ましい。その理由は、カーボンナノチューブ 16 の直径が、最小で 0.4 nm であるからである。

#### 【0043】

析出領域 14 の幅 W は、0.4 nm 以上 30 nm 以下であればより好ましい。カーボンナノチューブ 16 は、直径が 0.4 nm 以上 30 nm 以下の範囲にあるものが多いからである。

#### 【0044】

更に、析出領域 14 の幅 W は、0.4 nm 以上 10 nm 以下であれば更に好ましい。なぜなら、析出領域 14 の幅方向に多数のカーボンナノチューブ 16 が接近して屹立する可能性が小さくなるので、陰極 17 を例えば電界電子放出素子（

エミッタ)として使用する場合に、カーボンナノチューブ16の各々の表面における電界強度の低下を防止し、電界放出に必要な印加電圧を小さくすることができるからである。また、例えば直線状に配列されたカーボンナノチューブ16を記録装置(メモリ)として利用する場合には、一本の析出領域14には幅方向に1本のみのカーボンナノチューブ16を形成することが必要となる場合があるので、カーボンナノチューブ16の直径と析出領域14の幅Wとを一致させることが好ましいからである。

#### 【0045】

また、析出領域14の間隔L、すなわち熱分布11の変調方向における析出領域14の間隔(ピッチ)は、熱分布11の空間的周期Tに応じて、すなわち回折格子13の周期間隔Pおよびエネルギービーム12の波長 $\lambda$ に応じて定まる。波長 $\lambda$ を小さくするほど、または、周期間隔Pを微細にするほど析出領域14の間隔Lを微細化することができ、従来のフォトリソグラフィでは不可能な微細な間隔Lで析出領域14を形成することが可能である。

#### 【0046】

析出領域14の間隔Lは、例えば100nm以下であることが好ましい。従来のフォトリソグラフィでは解像限界が50nmであるため、従来のフォトリソグラフィで形成可能な最小のパターンは、例えば山50nm、谷50nm、および山50nmで、その間隔は解像限界の2倍すなわち100nmとなるからである。更に、析出領域14の間隔Lは、50nm以下とすればより好ましい。従来の電子ビームリソグラフィの解像限界が25nm程度であるため、従来の電子ビームリソグラフィで形成可能な最小のパターンの間隔は、同様に解像限界の2倍すなわち50nmとなるからである。

#### 【0047】

以上により、触媒配置工程が完了し、素材基板10に析出領域14を有する基板15が形成される。

#### 【0048】

(陰極形成工程)

続いて、図3を参照して陰極形成工程を説明する。基板15の上に、CVD(

Chemical Vapor Deposition ; 化学気相成長) 法により複数のカーボンナノチューブ 16 を成長させる。成長条件としては、例えば、カーボンナノチューブ 16 の原料となる炭素化合物としてメタン ( $\text{CH}_4$ ) を用い、析出領域 14 に析出した鉄を触媒として、 $900^\circ\text{C}$ 、15分とすることができる。カーボンナノチューブ 16 は析出領域 14 にのみ成長するので、析出領域 14 のパターン通りにカーボンナノチューブ 16 が直線状に配列された陰極 17 が形成される。カーボンナノチューブ 16 の直径は、原料となる炭素化合物の種類と、成長条件の設定により定めることが可能である。1つの陰極 17 に含まれるカーボンナノチューブ 16 の数は、少なければ少ないほど望ましい。電界がより集中しやすくなるからである。

#### 【0049】

##### (分離溝形成工程)

続いて、図 4 および図 5 を参照して分離溝形成工程を説明する。分離溝形成工程は、基板 15 の表面に分離溝を形成することによって、陰極 17 を互いに分離するものである。

#### 【0050】

まず、図 4 に示したように、基板 15 の表面に対して、エネルギービーム 12 を回折格子 13 で回折させた熱分布 11 を、熔融工程とは  $180$  度異なる位相で与える。すなわち、基板 15 と回折格子 13 との相対的な位置を、熔融工程における位置よりも、カーボンナノチューブ 16 の列の間隔 (ピッチ) の半分ずらすことによって、熱分布 11 の高温領域 11H が、カーボンナノチューブ 16 の列の中間の位置に形成されるようにする。

#### 【0051】

エネルギービーム 12 のエネルギー量は、高温領域 11H において基板 15 の表面が切削 (アブレーション; ablation) されるように設定される。これにより、図 5 に示したように、平行線状の分離溝 18 が、カーボンナノチューブ 16 の形成されている位置を回避して、その中間の位置に形成される。このとき、カーボンナノチューブ 16 が形成されている位置は低温領域 11L に対応するので、エネルギービーム 12 のエネルギー量は低く、カーボンナノチューブ 16 の温度



は例えば 400℃以下に抑えられる。よって、カーボンナノチューブ 16 が熱分布 11 による悪影響を受けることはない。

#### 【0052】

なお、支持体 10A を二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ )、酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、プラスチックあるいはガラスなどの絶縁体材料により構成すると共に分離溝 18 を形成する際に素材基板 10 を完全に切削するようにすれば、陰極 17 を分離溝 18 によって電氣的に分離することができるので好ましい。更に、分離溝 18 を支持体 10A にも食い込むように形成すれば、陰極 17 をより確実に電氣的に分離することができるので好ましい。

#### 【0053】

以上により、直線状に配列されたカーボンナノチューブ 16 を各々一列ずつ有する複数の陰極 17 と、これらの陰極 17 を互いに分離する分離溝 18 とを備えた電界電子放出素子が得られる。

#### 【0054】

(FED)

図 6 は、このような電界電子放出素子を用いた FED の概略構成を表すものである。この FED は、カソードパネル 20 とアノードパネル 30 とが対向配置されて一体化され、内部が高真空状態とされている。

#### 【0055】

カソードパネル 20 は、上述した陰極 17 が形成された基板 15 により構成されている。カソードパネル 20 は、必要な画面の寸法および基板 15 の大きさに応じて、複数の基板 15 を複合したものを用いることも可能である。陰極 17 は、赤 (R; Red) 用のカソード電極 21R、緑 (G; Green) 用のカソード電極 21G および青 (B; Blue) 用のカソード電極 21B を介して、データドライバ 22 に接続されている。カソード電極 21R、21G、21B としては、分離溝 18 によって切断された素材基板 10 を利用してもよいし、別途配線を設けるようにしてもよい。

#### 【0056】

アノードパネル 30 は、ガラス材料などよりなる透明基板 31 に、R 用のアノ

ード電極 32R, G用のアノード電極 32GおよびB用のアノード電極 32Bが、1画素単位で交互に配列された構成を有している。アノード電極 32R, 32G, 32Bは、各カソード電極 21R, 21G, 21Bに対して直交配置されている。また、アノード電極 32R, 32G, 32Bには、スキンドライバ 34が接続されている。アノード電極 32R, 32G, 32Bの透明基板 31側の表面には、R用の蛍光体膜 33R, G用の蛍光体膜 33GおよびB用の蛍光体膜 33Bがそれぞれ形成されている。

#### 【0057】

このFEDでは、例えばアノード電極 32R, 32G, 32Bとカソード電極 21R, 21G, 21Bとの間に選択的に電圧を印加すると、その交点に位置する陰極 17において電界電子放出が起こり、電子  $e^-$  がアノード電極 32R, 32G, 32Bに向けて放出される。陰極 17から放出された電子  $e^-$  は、アノード電極 32R, 32G, 32Bに設けられた図示しない微細な孔を通過して蛍光体膜 33R, 33G, 33Bに衝突し、蛍光体を発光させる。この蛍光体の発光により、所望の画像表示がなされる。ここでは、陰極 17のカーボンナノチューブ 16が、従来のフォトリソグラフィでは不可能な微細な幅  $W$  および間隔  $L$  で析出した鉄よりなる析出領域 14に形成されているので、より高精細な画像が鮮明に表示される。

#### 【0058】

このように本実施の形態では、カーボンナノチューブ 16を形成するための触媒機能を有する鉄よりなる析出領域 14のパターンを、変調された熱分布 11による溶融を利用して配置形成し、この析出領域 14のパターンを用いてカーボンナノチューブ 16を成長させて陰極 17を形成するようにしたので、熱分布 11を制御することにより、従来のフォトリソグラフィでは不可能であった微細な幅  $W$  および間隔  $L$  を有する析出領域 14のパターンを形成し、この析出領域 14のパターン通りにカーボンナノチューブ 16が規則正しく配列された陰極 17を得ることができる。よって、この陰極 17を有する電界電子放出素子を用いて、より高精細な画像を鮮明に表示することのできるファインピッチのFEDを実現することができる。

## 【0059】

また、析出領域14のパターンを有する基板15をドライプロセスにより形成することができるので、従来のフォトリソグラフィを利用したプロセスに比べて生産が容易であり、再現性が良く、低コスト化が可能である等の利点を得ることができる。

## 【0060】

更に、本実施の形態では、添加材として鉄を含むシリコンからなる素材基板10の表面に対して熱分布11を与え、素材基板10の表面を溶融させたのち、素材基板10の表面を放熱させるようにしたので、熱分布11に応じた位置に選択的に鉄を析出させ、ほぼ平面状の析出領域14からなるパターンを形成することができる。

## 【0061】

加えて、本実施の形態では、エネルギービーム12を回折させることにより熱分布11を与えるようにしたので、回折格子13の周期間隔Pを微細化することにより熱分布11の空間的周期Tを容易に制御し、析出領域14の間隔Lを精度よく微細化することができる。

## 【0062】

加えて、本実施の形態では、基板15の表面に、カーボンナノチューブ16を回避して分離溝18を形成するようにしたので、分離溝18によって陰極17が互いに分離され、FEDのカソードパネル20として利用する際に、各陰極17にデータドライバ22を接続して選択的に電圧を印加することができる。

## 【0063】

更にまた、分離溝18を、エネルギービーム12を回折させることにより熱分布11を与えて形成するようにしたので、微細な間隔で形成されたカーボンナノチューブ16の列の中間の位置に、精度よく分離溝18を形成することができる。また、通常のレーザアブレーションよりも短時間に複数の分離溝18を形成することができ、カーボンナノチューブ16に熱による悪影響を及ぼすこともない。

## 【0064】

## 〔変形例 1〕

次に、図 7 を参照して、上記第 1 の実施の形態の変形例 1 について説明する。本変形例は、分離溝 18 を、カーボンナノチューブ 16 の複数列毎、例えば 2 列毎に形成し、複数の陰極 17 が、カーボンナノチューブ 16 を各々 2 列ずつ有するようにしたものである。図示しないが、同様にしてカーボンナノチューブ 16 の 3 列毎、4 列毎に分離溝 18 を形成することも可能であることは言うまでもない。

## 【0065】

このような複数列毎の分離溝 18 は、基板 15 の表面に与える熱分布 41 の空間的周期を、例えば溶融工程における熱分布 11 の空間的周期  $T$  の整数倍 ( $nT$ ;  $n$  は正の整数かつ  $n \geq 2$ ) となるようにすることによって形成することができる。このように空間的周期を制御することは、例えば、切断工程において用いる回折格子 43 の周期間隔を、溶融工程における回折格子 13 の周期間隔  $P$  の整数倍 ( $nP$ ;  $n$  は正の整数かつ  $n \geq 2$ ) に設定することによって可能である。また、エネルギービーム 12 の波長  $\lambda$  あるいは入射角を制御することによっても可能である。

## 【0066】

基板 15 と回折格子 43 との相対的な位置は、第 1 の実施の形態と同様に、熱分布 41 の高温領域 41H が、カーボンナノチューブ 16 の列の中間の位置に形成されるように制御する。

## 【0067】

本変形例によれば、カーボンナノチューブ 16 の複数列毎に分離溝 18 を形成することができる。

## 【0068】

## 〔変形例 2〕

次に、図 8 ないし図 10 を参照して、本発明の変形例 2 を説明する。本変形例は、析出領域 14 のパターンを形成した後、カーボンナノチューブ 16 を成長させて陰極 17 を形成する前に分離溝形成工程を行うようにしたものである。

## 【0069】

(溶融工程および析出工程)

まず、第 1 の実施の形態と同様にして溶融工程および析出工程を行い、析出領域 14 のパターンを有する基板 15 を形成する。

#### 【0070】

(分離溝形成工程)

続いて、図 8 および図 9 を参照して分離溝形成工程を説明する。まず、図 8 に示したように、基板 15 の表面に対して、エネルギービーム 12 を回折格子 13 で回折させた熱分布 11 を、溶融工程とは 180 度異なる位相で与える。すなわち、基板 15 と回折格子 13 との相対的な位置を、溶融工程における位置よりも、析出領域 14 の間隔 (ピッチ) L の半分ずらすことによって、熱分布 11 の高温領域 11H が、析出領域 14 の中間の位置に形成されるようにする。

#### 【0071】

エネルギービーム 12 のエネルギー量は、高温領域 11H において基板 15 の表面が切削されるように設定される。これにより、図 9 に示したように、平行線状の分離溝 18 が、析出領域 14 のパターンを回避して、その中間の位置に形成される。

#### 【0072】

(陰極形成工程)

続いて、図 10 に示したように、第 1 の実施の形態と同様にして析出領域 14 にカーボンナノチューブ 16 を成長させて陰極 17 を形成する。

#### 【0073】

本変形例では、分離溝 18 を形成した後にカーボンナノチューブ 16 を成長させて陰極 17 を形成するので、カーボンナノチューブ 16 が熱分布 11 による悪影響を受けることを確実に防止することができる。

#### 【0074】

[変形例 3]

図 11 は、本発明の変形例 3 における分離溝形成工程を表している。本変形例では、上記変形例 2 において、変形例 1 に説明したのと同様にして析出領域 14 の複数本毎、例えば 2 本毎に分離溝 18 を形成するようにしたものである。

## 【0075】

## 〔第2の実施の形態〕

次に、図12ないし図18を参照して、本発明の第2の実施の形態に係る電界電子放出素子の製造方法および表示装置の製造方法を説明する。本実施の形態は、素材基板10の表面を放熱させることにより素材基板10の表面に突起を形成し、第2の物質を突起の先端部に析出させ、少なくとも先端部が第2の物質により構成された突起のパターンを有する基板を形成するようにしたものである。また、本実施の形態は、陰極形成工程において、基板と電極とを対向配置して両者の間に電界を印加し、低電圧で垂直にカーボンナノチューブを成長させるようにしたものである。

## 【0076】

## (溶融工程)

まず、例えば、上記第1の実施の形態における図1と同様にして溶融工程を行うが、そのときに、エネルギービーム12のエネルギー量を一定値を超えるように制御する。例えば、エネルギービーム12として、前述の第1の実施の形態と同様にエキシマレーザを用いる場合には、パルス発光の照射回数によりエネルギー量の制御を行うことができるが、本実施の形態では、例えばパルス照射回数を100回とする。

## 【0077】

## (析出工程)

溶融工程において素材基板10の表面を溶融させたのち、エネルギービーム12の照射を止めると、溶融工程において照射されたエネルギービーム12のエネルギー量が一定値を超えている場合には、図12に示したように、高温領域11Hに対応する素材基板10の表面が隆起して、突起51が形成される。

## 【0078】

突起51は、高温領域11Hが溝13Aに対応して一次元方向に配列された直線状であるので、これに対応して、一次元方向に配列された直線状のリブ（突条）のパターンとして形成される。この突起51は、素材基板10の表面に近い部分から凝固していくので、最後に凝固する先端付近に第2の物質（鉄）が析出し

て、析出領域 5 2 が形成される。したがって、析出領域 5 2 は、突起 5 1 の先端部に形成される。ここで、先端部とは、突起 5 1 を素材基板 1 0 の表面に平行な水平面 H (図 1 3 および図 1 4 参照) で切断した場合に、突起 5 1 の先端を含む部分をいう。例えば、析出領域 5 2 は、図 1 2 に示したように突起 5 1 の先端にのみ形成されていてもよいし、図 1 3 に示したように突起 5 1 全体が析出領域 5 2 となってもよい。あるいは図 1 4 に示したように突起 5 1 の先端および中腹にかけての部分に形成されていてもよい。

#### 【0079】

これにより、少なくとも先端部に鉄よりなる析出領域 5 2 が形成された突起 5 1 のパターンを有する基板 5 3 が得られる。

#### 【0080】

ここで、「突起」とは、基板 5 3 の表面から隆起し、その高さが第 1 の実施の形態における平面状の析出領域 1 4 の場合より高い 1 nm 以上の場合をいう。

#### 【0081】

析出領域 5 2 の幅 (線幅) W、すなわち熱分布 1 1 の変調方向における析出領域 5 2 の寸法は、第 1 の実施の形態と同様に、素材基板 1 0 における第 2 の物質 (鉄) の含有量により定まり、第 2 の物質 (鉄) の含有量が大きいほど、析出領域 5 2 の幅 W は大きくなる。析出領域 5 2 の幅 W は、原理的には第 2 の物質の原子の大きさより大きい任意の値をとり得るものであり、素材基板 1 0 における第 2 の物質の含有量を制御することにより従来のフォトリソグラフィ技術では不可能であった 50 nm 未満を実現することができる。

#### 【0082】

本実施の形態では、第 1 の実施の形態と異なり、析出領域 5 2 が突起 5 1 であり、先端になるに従って断面積が小さくなっているため、析出領域 5 2 の幅の微細化が容易である。

#### 【0083】

析出領域 5 2 の幅 W の具体的な値については、第 1 の実施の形態において析出領域 1 4 の幅 W について説明したのと同様に、第 2 の物質の材料および析出領域 5 2 の用途によって定められるが、例えば図 1 6 に示したように析出領域 5 2 に

析出した鉄を触媒として、複数のカーボンナノチューブ 54 が直線状に配列された陰極 55 を形成する場合には、幅  $W$  は、 $0.4\text{ nm}$  以上  $50\text{ nm}$  未満であることが好ましく、 $0.4\text{ nm}$  以上  $30\text{ nm}$  以下であればより好ましく、 $0.4\text{ nm}$  以上  $10\text{ nm}$  以下であれば更に好ましい。理由は第 1 の実施の形態において説明したのと同様である。

#### 【0084】

また、突起 51 の間隔  $L$ 、すなわち熱分布 11 の変調方向における析出領域 52 の間隔（ピッチ）は、熱分布 11 の空間的周期  $T$  に応じて、すなわち回折格子 13 の周期間隔  $P$  およびエネルギービーム 12 の波長  $\lambda$  に応じて定まる。波長  $\lambda$  を小さくするほど、または、周期間隔  $P$  を微細にするほど突起 51 の間隔  $L$  を微細化することができ、従来のフォトリソグラフィでは不可能な微細な間隔  $L$  で突起 51 および析出領域 52 を形成することが可能である。突起 51 の間隔  $L$  は、例えば  $100\text{ nm}$  以下であることが好ましく、更に、 $50\text{ nm}$  以下とすればより好ましい。理由は第 1 の実施の形態において説明したのと同様である。

#### 【0085】

以上により、触媒配置工程が完了する。

#### 【0086】

（陰極形成工程）

続いて、図 15 および図 16 を参照して陰極形成工程を説明する。第 1 の実施の形態と同様にして、例えば CVD 法あるいはプラズマ増速 CVD（Plasma Enhanced CVD；PECVD）法などにより、基板 53 の上にカーボンナノチューブ 54 を成長させて陰極 55（図 16 参照）を形成する。このとき、図 15（A）に示したように、基板 53 と例えばカーボン（C）よりなる電極 56 とを対向配置して両者の間に電圧を印加する。基板 53 には突起 51 が形成されているので、突起 51 の位置で電界が強まり、図 15（B）に示したように、カーボンナノチューブ 54 を垂直に成長させることができる。よって、低電圧でカーボンナノチューブ 54 の成長方向を一定方向に制御することができる。こうして得られた陰極 55 は、カーボンナノチューブ 54 の配向性が高いので、FED の陰極として利用すれば電子放出特性を向上させることができる。



## 【0087】

なお、このように電界を印加しながらカーボンナノチューブ54を成長させる場合には、素材基板10を構成する第1の物質として、例えばリン(P)を添加したシリコンなどの導電性の良好なものを用いることが好ましい。

## 【0088】

(分離溝形成工程)

続いて、第1の実施の形態において説明したのと同様にして分離溝形成工程を行う。これにより、図17に示したように、カーボンナノチューブ54の列を回避して、その中間の位置に分離溝58が形成される。

## 【0089】

以上により、直線状に配列されたカーボンナノチューブ54を各々一列ずつ有する複数の陰極55と、これらの陰極55を互いに分離する分離溝58とを備えた電界電子放出素子が得られる。

## 【0090】

(FED)

図18は、このような電界電子放出素子を用いたFEDの概略構成を表すものである。このFEDは、カソードパネル60とアノードパネル30とが対向配置されて一体化され、内部が高真空状態とされている。

## 【0091】

カソードパネル60は、上述した陰極55が形成された基板53により構成されている。カソードパネル60は、必要な画面の寸法および基板53の大きさに応じて、複数の基板53を複合したものを用いることも可能である。陰極55は、R用のカソード電極61R、G用のカソード電極61GおよびB用のカソード電極61Bを介して、データドライバ62に接続されている。カソード電極61R、61G、61Bとしては、分離溝18によって切断された素材基板10を利用してもよいし、別途配線を設けるようにしてもよい。

## 【0092】

アノードパネル30は、第1の実施の形態と同様に構成されている。

## 【0093】

このFEDでは、例えばアノード電極32R, 32G, 32Bとカソード電極61R, 61G, 61Bとの間に選択的に電圧を印加すると、その交点に位置する陰極55において電界電子放出が起こり、蛍光体膜33R, 33G, 33Bの蛍光体の発光により、所望の画像表示がなされる。ここでは、陰極55のカーボンナノチューブ54の成長方向が垂直に揃っており、配向性が高いので、放出される電子の量が均一化され、電子放出特性が向上する。また、輝度のばらつきが防止される。

#### 【0094】

このように本実施の形態では、素材基板10の所定の位置に、少なくとも先端部が第2の物質（鉄）により構成された突起51を形成するようにしたので、パターンを平面状にする場合に比べて析出領域52の幅をより微細にすることができ、第1の実施の形態に比べてより微細なパターンを形成することができる。

#### 【0095】

また、本実施の形態では、基板53と電極56とを対向配置して両者の間に電圧を印加するようにしたので、低電圧でカーボンナノチューブ54の成長方向を一定方向に制御することができる。よって、陰極55のカーボンナノチューブ54の配向性を高め、FEDの陰極として利用すれば電子放出特性を向上させ、輝度のばらつきを防止することができる。

#### 【0096】

##### 〔変形例4〕

図19は、第2の実施の形態の陰極形成工程の変形例を表している。本変形例では、図19(A)に示したように、基板53を二枚対向配置し、突起51のパターンどうしを向かい合わせて、二枚の基板53の間に電界を印加するようにしたものである。本変形例でも、突起51の位置で電界が強まり、図19(B)に示したように、両方の基板53の突起51の先端部からカーボンナノチューブ54を垂直に成長させることができる。よって、上記第2の実施の形態の効果に加え、二枚の基板53に同時にカーボンナノチューブ54を垂直に形成することができるので、生産効率を更に向上させることができる。

#### 【0097】

## 〔変形例 5〕

続いて、図 20 および図 21 を参照して、第 2 の実施の形態の陰極形成工程の他の変形例を説明する。本変形例では、電極として、基板 53 の突起 51 のパターンに対応する突起のパターンが形成されたものを用い、基板 53 の突起 51 のパターンと電極の突起のパターンとを向かい合わせて対向配置するようにしたものである。

## 【0098】

まず、図 20 に示したように、第 2 の実施の形態と同一の電極 56 に、第 2 の実施の形態の溶融工程および析出工程と同様にして突起 56A のパターンを形成し、突起電極 56B とする。突起 56A は、先端部に析出領域が形成されていないことを除いては、形状、幅 W および間隔 L などすべて突起 51 と同様に形成される。

## 【0099】

続いて、図 21 (A) に示したように、基板 53 の突起 51 のパターンと突起電極 56B の突起 56A のパターンとを向かい合わせて対向配置し、基板 53 と突起電極 56B との間に電界を印加する。これにより、突起 51、56A の位置で電界が強まり、図 21 (B) に示したように、基板 53 の突起 51 の先端部からカーボンナノチューブ 54 を垂直に成長させることができる。

## 【0100】

## 〔変形例 6〕

図 22 は、第 2 の実施の形態の陰極形成工程の更に他の変形例を表している。本変形例では、図 22 (A) に示したように、第 1 の実施の形態の平面状の析出領域 14 のパターンが形成された基板 15 と、変形例 5 の突起 56A のパターンが形成された突起電極 56B とを対向配置して電界を印加するようにしたものである。これにより、突起 56A の位置で電界が強まり、図 22 (B) に示したように、析出領域 14 の位置からカーボンナノチューブ 16 を垂直に成長させることができる。成長したカーボンナノチューブ 16 には、析出領域 14 に析出していた第 2 の物質 57、すなわち本実施の形態では鉄が内包される。

## 【0101】

## 〔変形例 7〕

図 23 は、第 1 の実施の形態の触媒配置工程の変形例を表している。本変形例では、触媒配置工程は、平坦状の電極の表面に、所望のパターンに応じて変調された熱分布を用いて突起のパターンを形成する「突起電極形成工程」と、触媒機能を有する金属を含む触媒溶液の中において、突起電極と導電性の基板との間に電界を印加して金属を還元し析出させることにより、基板上に、触媒機能を有する金属よりなり突起電極に対応したパターンを形成する「還元析出工程」とを含んでいる。

## 【0102】

## (突起電極形成工程)

まず、変形例 5 の図 20 に示したように、平坦面を有する電極 56 の表面に、突起 56A のパターンを形成して突起電極 56B とする。突起 56A のパターンの形成方法は、変形例 5 で説明したのと同様である。

## 【0103】

## (還元析出工程)

そして、図 23 (A) に示したように、カーボンナノチューブを形成するための触媒機能を有する金属、例えば鉄を含む触媒溶液 71 の中において、突起電極 56B と導電性の基板 72 とを対向配置して電界を印加する。触媒機能を有する金属としては、鉄に限らず、第 1 の実施の形態において第 2 の物質として挙げたものを用いることができる。これにより、突起 56A の位置で電界が強まり、図 23 (B) に示したように、導電性の基板 72 に、突起 56A のパターンに対応して鉄を還元により析出させて析出領域 73 を形成することができる。こうして、析出領域 72 のパターンを有する基板 72 を得ることができ、触媒配置工程が終了する。

## 【0104】

本変形例では、平坦な電極 56 の表面に、熱分布を用いて突起 56A のパターンを形成し、このパターンに対応して導電性の基板 72 に触媒金属（鉄）の析出領域 73 を形成するようにしたので、析出領域 73 を、従来のフォトリソグラフィでは不可能な微細な幅および間隔で形成された突起 56A のパターンに対応し

て形成することができる。

#### 【0105】

##### 〔第3の実施の形態〕

次に、図24ないし図32を参照して、第3の実施の形態に係る電界電子放出素子の製造方法および表示装置の製造方法について説明する。本実施の形態は、溶融工程において、エネルギービームのエネルギー量を、二次元方向すなわちX方向およびY方向に変調させ、素材基板10の表面に対して、X方向熱分布81XおよびY方向熱分布81Yを与えるようにしたものである。

#### 【0106】

##### (溶融工程)

まず、図24を参照して溶融工程を説明する。X方向熱分布81Xは、素材基板10の表面温度がX方向に変調されて、X方向高温領域81XHとX方向低温領域81XLとが周期的に形成されたものである。また、Y方向温度分布81Yは、素材基板10の表面温度がY方向に変調されて、Y方向高温領域81YHとY方向低温領域81YLとが周期的に形成されたものである。

#### 【0107】

X方向熱分布81XおよびY方向熱分布81Yは、例えば、エネルギービーム12を、非透過部分82Aおよび透過部分82Bが二次元方向に配列された回折格子82で回折させることにより与えられる。回折格子82としては、例えば、非透過部分82Aにエネルギービーム12を透過させないマスクが印刷されたものなどを用いることができる。

#### 【0108】

図25は、素材基板10の表面においてX方向温度分布81XとY方向温度分布81Yとが重畳されることにより、熱分布83が形成された状態を表している。図25に示したように、素材基板10の表面には、X方向高温領域81XHとY方向高温領域81YHとの重複する位置に高温領域83Hを有し、X方向低温領域81XLとY方向低温領域81YLとの重複する位置に低温領域83Lを有するような熱分布83が形成される。これにより、高温領域83Hは、非透過部分82Aおよび透過部分82Bの配列されている方向に沿って二次元方向に配列

される。

#### 【0109】

熱分布 83 の X 方向における空間的周期  $T_X$ 、すなわち高温領域 83 H の X 方向における間隔（ピッチ）は、回折格子 82 の X 方向における周期間隔  $P_X$  およびエネルギービーム 12 の波長  $\lambda$  に応じて定まる。また、熱分布 83 の Y 方向における空間的周期  $T_Y$ 、すなわち高温領域 83 H の Y 方向における間隔（ピッチ）は、回折格子 82 の Y 方向における周期間隔  $P_Y$  およびエネルギービーム 12 の波長  $\lambda$  に応じて定まる。波長  $\lambda$  を小さくするほど、または周期間隔  $P_X$ 、 $P_Y$  を微細にするほど熱分布 83 の空間的周期  $T_X$ 、 $T_Y$  を微細化することができる。ここで、本実施の形態では、回折格子 82 の X 方向における周期間隔  $P_X$  とは、一つの非透過部分 82 A の X 方向における寸法と一つの透過部分 82 B の X 方向における寸法との和をいい、回折格子 82 の Y 方向における周期間隔  $P_Y$  とは、一つの非透過部分 82 A の Y 方向における寸法と一つの透過部分 82 B の Y 方向における寸法との和をいう。

#### 【0110】

回折格子 82 の X 方向における周期間隔  $P_X$  と Y 方向における周期間隔  $P_Y$  とは、互いに独立に設定することができる。したがって、図 26 に示したように、熱分布 83 の X 方向における空間的周期  $T_X$  と Y 方向における空間的周期  $T_Y$  とを、互いに独立に設定することも可能である。

#### 【0111】

なお、回折格子 82 としては、マスク印刷により非透過部分 82 A および透過部分 82 B が形成されたものではなく、凹部または凸部が形成されたものを用いることも可能である。凹凸が形成された回折格子 82 の場合には、回折格子 82 の X 方向における周期間隔  $P_X$  とは、凹部（または凸部）の X 方向における間隔（ピッチ）をいい、回折格子 82 の Y 方向における周期間隔  $P_Y$  とは、凹部（または凸部）の Y 方向における間隔（ピッチ）をいう。

#### 【0112】

エネルギービーム 12 のエネルギー量は、低温領域 83 L において素材基板 10 の表面が溶融する温度となるように設定される。これにより、素材基板 10 の

表面の全体を溶融させることができる。このとき、エネルギービーム 12 としてエキシマレーザを用いると、パルス発光の照射回数によりエネルギー量の制御を行うことができる。

#### 【0113】

(析出工程)

次に、図 27 および図 28 を参照して、析出工程を説明する。溶融工程において素材基板 10 の表面の全体を溶融させたのち、エネルギービーム 12 の照射を止めて素材基板 10 の表面を放熱させ、熱分布 83 に応じた位置すなわち高温領域 83H に対応する位置に第 2 の物質を析出させ、析出領域 84 を形成する。これにより、析出領域 84 のパターンを有する基板 85 が得られる。

#### 【0114】

析出領域 84 は、高温領域 83H が素材基板 10 の表面に二次元方向に配列されているので、これに対応して、素材基板 10 の表面に二次元方向に配列された点状のパターンとして形成される。析出領域 84 の X 方向における寸法（直径）DX および Y 方向における寸法（直径）DY は、素材基板 10 における第 2 の物質の含有量により定まり、第 2 の物質の含有量が大きいほど、析出領域 84 の寸法 DX, DY は大きくなる。析出領域 84 の寸法 DX, DY は、原理的には第 2 の物質の原子の大きさより大きい任意の値をとり得るものであり、素材基板 10 における第 2 の物質の含有量を制御することにより従来のフォトリソグラフィ技術では不可能であった 50 nm 未満を実現することができる。

#### 【0115】

析出領域 84 の寸法 DX, DY の具体的な値は、第 2 の物質の材料および析出領域 84 の用途によって定められるが、例えば図 29 に示したように析出領域 84 に析出した鉄を触媒として、複数のカーボンナノチューブ 86 が二次元に配列された陰極 87 を形成する場合には、析出領域 84 の寸法 DX, DY はそれぞれ、0.4 nm 以上 50 nm 未満であることが好ましい。カーボンナノチューブ 86 の直径が最小で 0.4 nm であるからである。

#### 【0116】

析出領域 84 の寸法 DX, DY はそれぞれ、0.4 nm 以上 30 nm 以下であ

ればより好ましい。カーボンナノチューブ 86 は、直径が 3 nm 以上 30 nm 以下の範囲にあるものが多いからである。

#### 【0117】

更に、析出領域 84 の寸法  $D_X$ ,  $D_Y$  は、3 nm 以上 10 nm 以下であれば更に更に好ましい。析出領域 84 の X 方向または Y 方向に多数のカーボンナノチューブ 86 が接近して屹立する可能性が小さくなるので、陰極 87 を例えば電界電子放出素子として使用する場合に、カーボンナノチューブ 86 の各々の表面における電界強度の低下を防止し、電界放出に必要な印加電圧を小さくすることができるからである。また、例えば二次元に配列されたカーボンナノチューブ 86 を記録装置（メモリ）として利用する場合には、一箇所の析出領域 84 には 1 本のみのカーボンナノチューブ 86 を形成することが必要となる場合があるので、カーボンナノチューブ 86 の直径と析出領域 84 の寸法  $D_X$ ,  $D_Y$  とを一致させることが好ましいからである。

#### 【0118】

また、析出領域 84 の X 方向における間隔  $L_X$ 、および Y 方向における間隔  $L_Y$  は、熱分布 83 の空間的周期  $T_X$ ,  $T_Y$  に応じて、すなわち回折格子 82 の周期間隔  $P_X$ ,  $P_Y$  およびエネルギービーム 12 の波長  $\lambda$  に応じて定まる。波長  $\lambda$  を小さくするほど、または、回折格子 82 の周期間隔  $P_X$ ,  $P_Y$  を微細にするほど析出領域 84 の間隔  $L_X$ ,  $L_Y$  を微細化することができ、従来のフォトリソグラフィでは不可能な微細な間隔  $L_X$ ,  $L_Y$  で析出領域 84 を形成することも可能である。

#### 【0119】

析出領域 84 の間隔  $L_X$ ,  $L_Y$  は、例えば 100 nm 以下であることが好ましい。前述のように、従来のフォトリソグラフィでは解像限界が 50 nm であるため、従来のフォトリソグラフィで形成可能な最小のパターンは、例えば山 50 nm、谷 50 nm、および山 50 nm で、その間隔は解像限界の 2 倍すなわち 100 nm となるからである。更に、析出領域 84 の間隔  $L_X$ ,  $L_Y$  は、50 nm 以下とすればより好ましい。従来の電子ビームリソグラフィの解像限界が 25 nm 程度であるため、従来の電子ビームリソグラフィで形成可能な最小のパターンの



間隔は、同様に解像限界の2倍すなわち50 nmとなるからである。

#### 【0120】

なお、図26に示したように熱分布83のX方向における空間的周期TXとY方向における空間的周期TYとを、互いに独立に設定した場合には、これに対応して、図30に示したように析出領域84が楕円形に形成される。

#### 【0121】

以上により、触媒配置工程が完了する。

#### 【0122】

(陰極形成工程)

次に、図29に示したように、第1の実施の形態と同様にして、例えばCVD法により基板85の上にカーボンナノチューブ86を成長させて陰極87を形成する。カーボンナノチューブ84は析出領域84にのみ成長するので、カーボンナノチューブ86が二次元方向に配列された陰極87が形成される。1つの陰極87に含まれるカーボンナノチューブ86の数は、少なければ少ないほど望ましい。電界がより集中しやすくなるからである。

#### 【0123】

なお、陰極形成工程において、第2の実施の形態のように基板86と図示しない電極とを対向配置して両者の間に電圧を印加するようにしてもよい。

#### 【0124】

(分離溝形成工程)

続いて、第1の実施の形態において説明したのと同様にして分離溝形成工程を行う。これにより、図31に示したように、二次元方向に配列されたカーボンナノチューブ86を回避して、その中間の位置に平行線状の分離溝88が形成される。

#### 【0125】

以上により、間隔をあけて配列されたカーボンナノチューブ86を各々一列ずつ有する複数の陰極87と、これらの陰極87を互いに分離する分離溝88とを備えた電界電子放出素子が得られる。

#### 【0126】

(FED)

図32は、このような電界電子放出素子を用いたFEDの概略構成を表すものである。このFEDは、カソードパネル90とアノードパネル30とが対向配置されて一体化され、内部が高真空状態とされている。

【0127】

カソードパネル90は、上述した陰極87が形成された基板85により構成されている。カソードパネル90は、必要な画面の寸法および基板85の大きさに応じて、複数の基板85を複合したものをを用いることも可能である。陰極87は、R用のカソード電極91R、G用のカソード電極91GおよびB用のカソード電極91Bを介して、データドライバ92に接続されている。カソード電極91R、91G、91Bとしては、分離溝88によって切断された素材基板10を利用してもよいし、別途配線を設けるようにしてもよい。

【0128】

アノードパネル30は、第1の実施の形態と同様に構成されている。

【0129】

このFEDでは、例えばアノード電極32R、32G、32Bとカソード電極91R、91G、91Bとの間に選択的に電圧を印加すると、その交点に位置する陰極55において電界電子放出が起こり、蛍光体膜33R、33G、33Bの蛍光体の発光により、所望の画像表示がなされる。ここでは、陰極87のカーボンナノチューブ86が間隔をあけて二次元に配列されているので、各カーボンナノチューブ86の表面における電界強度が大きくなり、電子放出特性が向上する。

【0130】

このように本実施の形態では、エネルギービーム12のエネルギー量を二次元方向に変調させることにより熱分布83を形成するようにしたので、素材基板10の表面に二次元方向に配列された析出領域84のパターンを形成することが可能となる。

【0131】

また、回折格子82を用いてエネルギービーム12を回折させることにより熱

分布 83 を形成するようにしたので、回折格子 82 の周期間隔  $P_X$ ,  $P_Y$  を微細化することにより熱分布 83 の空間的周期  $T_X$ ,  $T_Y$  を容易に制御し、析出領域 84 の間隔  $L_X$ ,  $L_Y$  を微細化することができる。

#### 【0132】

##### 〔変形例 8〕

図 33 は、第 3 の実施の形態における分離溝形成工程の変形例を表している。本変形例では、図 33 に示したように、分離溝 88 を格子状に形成するようにしている。この場合には、分離溝 88 の X 方向における間隔と Y 方向における間隔とは独立に設定することができる。

#### 【0133】

このように分離溝 88 を格子状に形成した場合には、FED のカソードパネルとして利用するためのカソード電極は、例えば、基板 85 の裏側から穴を開けて配線を行うことなどが可能である。

#### 【0134】

なお、第 3 の実施の形態の分離溝形成工程は、図 33 の他にも様々な変形が可能である。例えば、分離溝形成工程は、析出領域 84 を形成した後、カーボンナノチューブ 86 を成長させて陰極 87 を形成する前に行っても良い。また、分離溝 88 は、カーボンナノチューブ 86 の複数列、例えば 2 列毎に形成することもできる。

#### 【0135】

##### 〔変形例 9〕

次に、図 34 ないし図 36 を参照して、第 3 の実施の形態の析出工程の変形例を説明する。本変形例は、素材基板 10 の表面に二次元方向に配列された突起を形成し、この突起の先端部に第 2 の物質を析出させるようにしたものである。

#### 【0136】

##### (溶融工程)

まず、例えば、第 3 の実施の形態における図 24 および図 25 と同様にして溶融工程を行うが、そのときに、第 2 の実施の形態と同様に、エネルギービーム 12 のエネルギー量を一定値を超えるように制御する。

## 【0137】

(析出工程)

溶融工程において素材基板10の表面を溶融させたのち、エネルギービーム12の照射を止めると、溶融工程において照射されたエネルギービーム12のエネルギー量が一定値を超えている場合には、図34および図35に示したように、高温領域83Hに対応する素材基板10の表面が隆起して、突起101が形成される。

## 【0138】

突起101は、高温領域83Hが素材基板10の表面に二次元方向に配列されているので、これに対応して、素材基板10の表面に二次元方向に配列された錘体のパターンとして形成される。突起101は、素材基板10の表面に近い部分から凝固していくので、最後に凝固する先端付近に第2の物質が析出して、析出領域102が形成される。したがって、析出領域102は、突起101の先端部に形成される。ここで、先端部の意味およびその具体例については、第2の実施の形態において図13および図14を参照して説明したのと同様である。

## 【0139】

これにより、少なくとも先端部に鉄よりなる析出領域102が形成された突起101のパターンを有する基板103が得られる。

## 【0140】

析出領域102のX方向における寸法(直径)DXおよびY方向における寸法(直径)DYは、素材基板10における第2の物質(鉄)の含有量により定まり、第2の物質(鉄)の含有量が大きいほど、析出領域102の寸法DX, DYは大きくなる。析出領域102の寸法DX, DYは、原理的には第2の物質の原子の大きさより大きい任意の値をとり得るものであり、素材基板10における第2の物質の含有量を制御することにより従来のフォトリソグラフィ技術では不可能であった50nm未満を実現することができる。

## 【0141】

析出領域102の寸法DX, DYの具体的な値については、第3の実施の形態において析出領域84の寸法DX, DYについて説明したのと同様に、第2の物

質の材料および析出領域 102 の用途によって定められるが、例えば図 36 に示したように析出領域 102 に析出した鉄を触媒として、複数のカーボンナノチューブ 104 が二次元方向に配列された陰極 105 を形成する場合には、析出領域 102 の寸法  $D_X$ 、 $D_Y$  はそれぞれ、0.4 nm 以上 50 nm 未満であることが好ましく、0.4 nm 以上 30 nm 以下であればより好ましく、0.4 nm 以上 10 nm 以下であれば更に好ましい。理由は、第 3 の実施の形態において説明したのと同様である。

#### 【0142】

また、突起 101 の X 方向における間隔  $L_X$ 、および Y 方向における間隔  $L_Y$  は、熱分布 83 の空間的周期  $T_X$ 、 $T_Y$  に応じて、すなわち回折格子 82 の周期間隔  $P_X$ 、 $P_Y$  およびエネルギービーム 12 の波長  $\lambda$  に応じて定まる。波長  $\lambda$  を小さくするほど、または、回折格子 82 の周期間隔  $P_X$ 、 $P_Y$  を微細にするほど突起 101 および析出領域 102 の間隔  $L_X$ 、 $L_Y$  を微細化することができ、従来のフォトリソグラフィでは不可能な微細な間隔  $L_X$ 、 $L_Y$  で突起 101 および析出領域 102 を形成することも可能である。突起 101 および析出領域 102 の間隔  $L_X$ 、 $L_Y$  は、100 nm 以下であることが好ましく、更に、50 nm 以下であればより好ましい。理由は、第 3 の実施の形態において説明したのと同様である。

#### 【0143】

以上により、触媒配置工程が完了する。

#### 【0144】

(陰極形成工程)

次に、図 36 に示したように、第 3 の実施の形態と同様にして、例えば CVD 法により基板 103 の上にカーボンナノチューブ 104 を成長させて陰極 105 を形成する。カーボンナノチューブ 104 は析出領域 102 にのみ成長するので、カーボンナノチューブ 104 が二次元方向に配列された陰極 105 が形成される。

#### 【0145】

このように本変形例では、素材基板 10 の所定の位置に、高さ方向の少なくと

も一部が第 2 の物質により構成された突起 1 0 1 のパターンを二次元方向に配列するようにしたので、第 1, 第 3 の実施の形態の平面状の析出領域 1 4, 8 4 に比べてより微細な寸法の析出領域 1 0 2 を形成することができる。

#### 【0 1 4 6】

##### 〔第 4 の実施の形態〕

次に、図 3 7 ないし図 3 9 を参照して、本発明の第 4 の実施の形態に係る電界電子放出素子の製造方法および表示装置の製造方法を説明する。本実施の形態は、陰極に対応して引き出し電極を形成する引き出し電極形成工程を更に含むものである。すなわち、本実施の形態は、上記変形例 2 において分離溝形成工程を行った後に、引き出し電極を形成し、続いてカーボンナノチューブを成長させて陰極を形成するようにしたものである。

#### 【0 1 4 7】

##### (溶融工程および析出工程)

まず、図 3 7 (A) に示したように、第 1 の実施の形態と同様にして溶融工程および析出工程を行い、析出領域 1 4 のパターンを有する基板 1 5 を形成する。なお、析出領域 1 4 は前述のようにほぼ平面状となっているが、図 3 7 ではわかりやすくするため基板 1 5 の表面から突出して表している。

#### 【0 1 4 8】

##### (分離溝形成工程)

続いて、図 3 7 (B) に示したように、分離溝 1 8 を、析出領域 1 4 のパターンを回避して、その中間の位置に形成する。分離溝 1 8 の形成方法は、変形例 2 で図 8 および図 9 を参照して説明したのと同様である。

#### 【0 1 4 9】

##### (引き出し電極形成工程)

分離溝 1 8 を形成したのち、引き出し電極形成工程を行う。まず、図 3 8 (A) に示したように、基板 1 5 の上に、例えばスパッタリングまたは化学蒸着法により、例えば二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) などよりなる絶縁膜 1 1 1 を形成する。

#### 【0 1 5 0】

続いて、図 3 8 (B) に示したように、絶縁膜 1 1 1 の上に、例えばスパッタ

リングまたは化学蒸着法により、例えばニオブ (Nb) またはモリブデン (Mo) などよりなる導電性膜 112 を形成する。

#### 【0151】

導電性膜 112 を形成したのち、図 38 (C) に示したように、例えばフォトリソグラフィおよび反応性イオンエッチングにより、絶縁膜 111 および導電性膜 112 に、析出領域 14 各々に対向して開口部 113 を形成する。これにより、基板 15 の上に、絶縁膜 111 を介してニオブまたはモリブデンよりなる引き出し電極 114 が形成される。

#### 【0152】

(陰極形成工程)

続いて、図 39 に示したように、第 1 の実施の形態と同様にして析出領域 14 にカーボンナノチューブ 16 を成長させて陰極 17 を形成する。これにより陰極 17 に対応して引き出し電極 114 を有する電界電子放出素子が得られる。

#### 【0153】

(FED)

図 40 は、このような電界電子放出素子を用いた FED の概略構成を表すものである。この FED は、カソードパネル 120 とアノードパネル 30 とが対向配置されて一体化され、内部が高真空状態とされている。

#### 【0154】

カソードパネル 120 は、上述した陰極 17 およびこの陰極 17 に対応して引き出し電極 114 が形成された基板 15 により構成されている。カソードパネル 120 は、必要な画面の寸法および基板 15 の大きさに応じて、複数の基板 15 を複合したものを用いることも可能である。陰極 17 は、R 用のカソード電極 121 R、G 用のカソード電極 121 G および B 用のカソード電極 121 B を介して、図示しないデータドライバに接続されている。カソード電極 121 R、121 G、121 B としては、分離溝 18 によって切断された素材基板 10 を利用してもよいし、別途配線を設けるようにしてもよい。また、引き出し電極 114 は、カソード電極 121 R、121 G、121 B に対応して R 用の引き出し電極 114 R、G 用の引き出し電極 114 G および B 用の引き出し電極 114 B が含ま

れている。R用の引き出し電極114R、G用の引き出し電極114GおよびB用の引き出し電極114Bは、図示しないスキンドライバに接続されている。

#### 【0155】

アノードパネル30は、アノード電極32R、32G、32Bに所定の直流電圧が固定的に印加されることを除いては、第1の実施の形態と同様に構成されている。なお、図40では、アノード電極32Rおよび蛍光体膜33Rのみが示されている。

#### 【0156】

このFEDでは、例えば引き出し電極114R、114G、114Bとカソード電極121R、121G、121Bとの間に選択的に電圧を印加すると、その交点に位置する陰極17において電界電子放出が起こり、蛍光体膜33R、33G、33B（図6参照）の蛍光体の発光により、所望の画像表示がなされる。ここでは、陰極17に対応して引き出し電極114が形成されているので、低い電圧で電界電子放出が発生する。

#### 【0157】

このように本実施の形態では、陰極17に対応して引き出し電極114を設けたので、低い電圧で電界電子放出を発生させることができる。

#### 【0158】

##### 〔変形例10〕

続いて、図41ないし図43を参照して、第4の実施の形態の変形例を説明する。本変形例は、金属触媒としての鉄（Fe）により構成された素材基板10の表面に、第2の実施の形態と同様にして突起のパターンを形成したのち、この突起の最先端部分以外の表面に、カーボンナノチューブの成長を抑制する抑制層を形成するようにしたものである。

#### 【0159】

すなわち、本変形例は、触媒配置工程として、素材基板10の表面に所望のパターンに応じて変調された熱分布11を与え、素材基板10の表面を溶融させる「溶融工程」と、素材基板10の表面を放熱させることにより、熱分布11に応じた位置に、すなわち所望のパターンで突起を形成する「突起形成工程」と、突



起の最先端部分以外の表面に、カーボンナノチューブの成長を抑制する抑制層を形成する「抑制層形成工程」とを含むものである。そののち、分離溝を形成する「分離溝形成工程」を行ったのち、抑制層で覆われていない突起の最先端部分にカーボンナノチューブを成長させて陰極を形成する「陰極形成工程」を行う。

#### 【0160】

(溶融工程)

まず、第2の実施の形態と同様にして溶融工程を行う。このとき、素材基板10は、本実施の形態では金属触媒としての鉄(Fe)により構成されている。

#### 【0161】

素材基板10の材料は、例えばカーボンナノチューブを形成するための金属触媒としての機能を有するものであればよく、その具体例は、上記第1の実施の形態において第2の物質として例示したものと同様である。

#### 【0162】

(突起形成工程)

次に、図41(A)を参照して突起形成工程を説明する。すなわち、溶融工程において素材基板10の表面を溶融させたのち、エネルギービーム12の照射を止めると、素材基板10の表面の温度は徐々に低下して凝固するが、このとき、溶融工程において照射されたエネルギービーム12のエネルギー量が一定値を超えている場合には、高温領域11Hに対応する位置に、素材基板10の表面から隆起した突起134が形成される。突起134は、先端部に析出領域が形成されていないことを除いては、形状、幅Wおよび間隔Lなどすべて第2の実施の形態の突起51と同様に形成される。

#### 【0163】

(分離溝形成工程)

そののち、図41(B)に示したように、分離溝135を形成する。分離溝135の形成は、例えば変形例2と同様に行うことができる。

#### 【0164】

(抑制層形成工程)

次に、図41(C)に示したように、突起134の最先端部分134A以外の

表面に、抑制層 136 を形成する。この抑制層 136 は、後述する陰極形成工程において突起 134 の側面からカーボンナノチューブが成長することを抑制し、カーボンナノチューブの成長する領域を限定するものであり、例えば二酸化ケイ素を、SOG (Spin On Glass) により塗布することにより、または CVD 法などにより形成される。なお、抑制層 136 の材料は、上述の二酸化ケイ素の他、窒化ケイ素 (SiN)、ポリイミド、ポリメチルメタクリレート (Poly Methyl Methacrylate; PMMA)、金属酸化膜などの絶縁体材料、あるいはシリコン、ゲルマニウムなどの半導体材料を用いてもよい。特に、抑制層 136 の材料として絶縁体材料を用いた場合には、突起 134 の最先端部分 134A の周辺が絶縁体材料よりなる抑制層 136 で満たされるので、カーボンナノチューブ 145 の周辺に絶縁物が存在しない場合に比べて、より高い電界をカーボンナノチューブ 145 に集中させることができる。

#### 【0165】

以上により、触媒配置工程が完了し、突起 134 の最先端部分 134A 以外の表面に抑制層 136 が形成された基板 137 が形成される。

#### 【0166】

(引き出し電極形成工程)

基板 137 を形成したのち、引き出し電極形成工程を行う。まず、図 42 (A) に示したように、基板 137 の上に、例えばスパッタリングまたは化学蒸着法により、例えば二酸化ケイ素などよりなる絶縁膜 141 を形成する。

#### 【0167】

続いて、図 42 (B) に示したように、絶縁膜 141 の上に、例えばスパッタリングまたは化学蒸着法により、例えばニオブ (Nb) またはモリブデン (Mo) などよりなる導電性膜 142 を形成する。

#### 【0168】

導電性膜 142 を形成したのち、図 42 (C) に示したように、例えばフォトリソグラフィおよび反応性イオンエッチングにより、絶縁膜 141 および導電性膜 142 に、突起 134 の最先端部分 134A の各々に対向して開口部 143 を形成する。これにより、基板 137 の上に、絶縁膜 141 を介してニオブまたは

モリブデンよりなる引き出し電極 144 が形成される。

#### 【0169】

(陰極形成工程)

続いて、図 43 に示したように、第 1 の実施の形態と同様にして突起 134 の最先端部分 134A からカーボンナノチューブ 145 を成長させて陰極 146 を形成する。これにより、陰極 146 に対応して引き出し電極 144 を有する電界電子放出素子が得られる。

#### 【0170】

このように本変形例では、上記第 4 の実施の形態の効果に加えて、突起 134 の最先端部分 134A 以外の表面に抑制層 136 を形成するようにしたので、突起 134 の最先端部分 134A のみにカーボンナノチューブ 145 を成長させることができる。

#### 【0171】

特に、抑制層 136 の材料として絶縁体材料を用いた場合には、突起 134 の最先端部分 134A の周辺が絶縁体材料よりなる抑制層 136 で満たされるので、カーボンナノチューブ 145 の周辺に絶縁物が存在しない場合に比べて、より高い電界をカーボンナノチューブ 145 に集中させることができる。

#### 【0172】

[第 5 の実施の形態]

次に、本発明の第 5 の実施の形態について説明する。本実施の形態は、上記第 1 の実施の形態によって陰極 17 を形成した後、カーボンナノチューブ 16 の先端を所定の平面内に形成すると共にその先端を開放端（オープンエンド）とする高さ均一化工程を更に含むようにしたものである。

#### 【0173】

なお、ここで、「高さ」とは、カーボンナノチューブ 16 の先端の位置、すなわち素材基板 10 の表面とカーボンナノチューブ 16 の先端との距離をいう。よって、カーボンナノチューブ 16 の高さは、カーボンナノチューブ 16 の長さすなわち延長方向における実際の寸法とは異なる場合もありうる。

#### 【0174】

#### (高さ均一化工程)

以下、図 44 を参照して、高さ均一化工程を説明する。まず、図 44 (A) に示したように、カーボンナノチューブ 16 の周囲の空間に固定層 151 を充填し、カーボンナノチューブ 16 を固定層 151 により固定する。固定層 151 の材料としては、例えば、二酸化ケイ素、窒化ケイ素、ポリイミド、PMMA、金属酸化膜などの絶縁体材料、あるいはシリコン、ゲルマニウムなどの半導体材料などが用いられる。固定層 151 の形成方法としては、例えば、PECVD 法、PVD (Physical Vapor Deposition) 法、SOG などが挙げられる。固定層 151 の厚さは、特に限定されない。

#### 【0175】

次に、図 44 (B) に示したように、例えばCMP (Chemical Mechanical Polishing ; 化学機械研磨) により、固定層 151 と共にカーボンナノチューブ 16 を研磨する。これにより、カーボンナノチューブ 16 の先端が同一平面 PL 内に揃えられると共に、研磨により先端が開放されて開放端 16A となる。よって、陰極 17 のカーボンナノチューブ 16 の高さを均一化することができる。

#### 【0176】

この場合、素材基板 10 の表面に対して傾いた角度で成長したカーボンナノチューブ 16 があっても、すべてのカーボンナノチューブ 16 の先端が同一平面 PL 内に揃うので、すべてのカーボンナノチューブ 16 からの電界放射を行うことが可能となる。

#### 【0177】

このように本実施の形態では、カーボンナノチューブ 16 の高さが均一化されるので、例えば FED として用いる際に均一な放射特性が得られる。また、先端は開放端 16A となっているので電界放出特性が良好となり、低い電圧で電界放射を行うことができる。

#### 【0178】

また、第 2 の実施の形態と本実施の形態とを組み合わせ、基板と電極との間に電界を印加させることにより垂直方向に揃えて成長させたカーボンナノチューブの高さを均一化するようにすれば、カーボンナノチューブの形状および成長方

向を均一化することができ、更に電界放出特性を高めることができる。

#### 【0179】

なお、本実施の形態においては、固定層 151 を、図 44 (B) に示した研磨の際の平坦化層として用いた場合について説明したが、研磨せずに図 44 (A) に示した状態で、例えば FED などに利用することも可能である。この場合には、固定層 151 によってカーボンナノチューブ 16 が固定されるのでカーボンナノチューブ 16 を堅牢化することができると共に、陰極 17 の取扱いを容易にすることができる。

#### 【0180】

更に、固定層 151 を絶縁性材料により構成し、固定層の上にニオブまたはモリブデンよりなる引き出し電極を形成するようにしてもよい。

#### 【0181】

##### 〔変形例 11〕

次に、図 45 ないし図 49 を参照して変形例 11 を説明する。本変形例は、第 1 の実施の形態の触媒配置工程の変形例であり、転写物質（ここでは、触媒金属）からなる素材基板 10 の表面に、転写物質の突起のパターンを形成し、これを転写用原盤として、この転写用原盤のパターンを被転写基板に転写させて基板を得、この基板にカーボンナノチューブを成長させて陰極を形成するものである。

#### 【0182】

具体的には、本変形例は、触媒配置工程として、素材基板 10 の表面に所望のパターンに応じて変調された熱分布 11 を与え、素材基板 10 の表面を溶融させる「溶融工程」と、素材基板 10 の表面を放熱させることにより、熱分布 11 に応じた位置に、すなわち、所望のパターンで突起を形成する「突起形成工程」と、転写用原盤のパターンを被転写基板に転写させて基板を作製する「転写工程」とを含むものである。

#### 【0183】

##### （溶融工程）

まず、第 2 の実施の形態と同様にして溶融工程を行う。このとき、素材基板 10 は、本実施の形態では金属触媒としての鉄により構成されている。

## 【0184】

素材基板 10 の材料は、例えばカーボンナノチューブを形成するための金属触媒としての機能を有するものであればよく、その具体例は、上記第 1 の実施の形態において第 2 の物質として例示したものと同様である。

## 【0185】

(突起形成工程、原盤作製工程)

次に、図 45 を参照して突起形成工程を説明する。すなわち、熔融工程において素材基板 10 の表面を熔融させたのち、エネルギービーム 12 の照射を止めると、素材基板 10 の表面の温度は徐々に低下して凝固するが、このとき、熔融工程において照射されたエネルギービーム 12 のエネルギー量が一定値を超えている場合には、高温領域 11 H に対応する位置に、素材基板 10 の表面から隆起した突起 164 が形成され、素材基板 10 の表面に突起 164 を有する転写用原盤（以下、原盤という）165 が形成される。

## 【0186】

突起 164 は、高温領域 11 H が溝 13 A に対応して一次元方向に配列された直線状であるので、これに対応して、一次元方向に配列された直線状のリブ（突条）のパターンとして形成される。突起 164 の幅（線幅）W、すなわち熱分布 11 の変調方向における突起 164 の下端部の寸法は、熔融温度および冷却速度により定まる。熔融温度は、エネルギービーム 12 のエネルギー量、すなわちエキシマレーザの場合にはパルス照射回数によって制御することができ、熔融温度が高いほど、突起 164 の幅 W は大きくなる。冷却速度は、素材基板 10 または素材基板 10 のホルダーを真空中またはガス雰囲気中に配置する方法、ガスフローによる方法、水または液体窒素中で冷却する方法、あるいは加熱しながらゆっくり冷却する方法などによって制御することができ、冷却速度が速いほど突起 164 の幅 W は大きくなる。突起 164 の幅 W は、原理的には素材基板 10 の構成物質の原子の大きさより大きい任意の値をとり得るものであり、熔融温度および冷却速度を制御することにより従来のフォトリソグラフィ技術では不可能であった 50 nm 未満を実現することができる。

## 【0187】

突起 164 の幅  $W$  の具体的な値は、後述する基板の用途によって定められるが、例えばカーボンナノチューブ構造体を形成する場合には、突起 164 の幅  $W$  は、0.4 nm 以上 50 nm 未満であることが好ましく、0.4 nm 以上 30 nm 以下であればより好ましく、0.4 nm 以上 10 nm 以下であれば更に好ましい。理由は第 1 の実施の形態において説明したのと同様である。

#### 【0188】

また、突起 164 の間隔  $L$ 、すなわち熱分布 11 の変調方向における突起 164 の間隔（ピッチ）は、熱分布 11 の空間的周期  $T$  に応じて、すなわち回折格子 13 の周期間隔  $P$  およびエネルギービーム 12 の波長  $\lambda$  に応じて定まる。波長  $\lambda$  を小さくするほど、または、周期間隔  $P$  を微細にするほど突起 164 の間隔  $L$  を微細化することができ、従来のフォトリソグラフィでは不可能な微細な間隔  $L$  で突起 164 を形成することが可能である。突起 164 の間隔  $L$  は、例えば 100 nm 以下であることが好ましく、更に、50 nm 以下とすればより好ましい。理由は第 1 の実施の形態において説明したのと同様である。

#### 【0189】

##### （転写工程）

次に、図 46 を参照して転写工程を説明する。まず、図 46 (A) に示したように、例えば、導電性膜 172 の配線パターンが予め形成された被転写基板 171 を用意する。

#### 【0190】

続いて、図 46 (B) に示したように、原盤 165 の突起 164 と被転写基板 171 の導電性膜 172 とを対向させて密接させる。このとき、転写特性向上のため、必要に応じて加圧することが好ましい。更に、加熱処理を行うようにすれば、転写特性をいっそう良好にすることができるので、より好ましい。

#### 【0191】

そののち、原盤 165 を被転写基板 171 から引き離すと、図 46 (C) に示したように、突起 164 の先端部が、被転写基板 171 に転写される。こうして、被転写基板 271 の上に、触媒金属（鉄）よりなる転写パターン 173 が形成された基板 174 が形成される。よって、一枚の原盤 165 から多数の被転写基

板 171 に突起 164 のパターンを転写して基板 174 を大量に製造することができる。なお、転写を繰り返すことにより突起 164 が磨耗した場合には、再び溶融工程および突起形成工程を繰り返して突起 164 の形状を回復させることなどが可能である。

#### 【0192】

ここで、「突起 164 の先端部」とは、突起 164 を素材基板 10 の表面に平行な水平面 H (図 47 および図 48 参照) で切断した場合に、突起 164 の先端を含む部分をいう。したがって、例えば、図 46 (C) に示したように突起 164 の先端のみを被転写基板 171 に転写してもよいし、図 47 に示したように突起 164 全体を被転写基板 171 に転写するようにしてもよい。あるいは図 48 に示したように突起 164 の先端および中腹にかけての部分の被転写基板 171 に転写するようにしてもよい。

#### 【0193】

以上により、触媒配置工程が完了する。

#### 【0194】

(陰極形成工程)

被転写基板 171 に転写パターン 173 を形成して基板 174 を作製したのち、例えば、図 49 に示したように、この転写パターン 173 を触媒として基板 174 上にカーボンナノチューブ 175 を成長させ、複数のカーボンナノチューブ 175 が直線状に配列された陰極 176 を形成することができる。このように導電性膜 172 上に形成された陰極 176 は、電界電子放出素子として利用することができる。

#### 【0195】

このように本変形例では、触媒金属からなる素材基板 10 の表面に対して熱分布 11 を与え、素材基板 10 の表面を溶融させたのち、素材基板 10 の表面を放熱させるようにしたので、所望の位置に触媒金属からなる微細な突起 164 のパターンを有する原盤 165 を作製することができる。突起 164 の幅 W は、溶融温度および冷却速度を制御することによって従来のフォトリソグラフィ技術では不可能であった 50 nm 未満とすることが可能である。また、熱分布 11 の空間



的周期 $T$ を制御することにより突起164を従来のフォトリソグラフィ技術では不可能であった微細な間隔 $L$ で形成することが可能になる。

#### 【0196】

また、突起164のパターンを有する原盤165をドライプロセスにより形成することができるので、従来のフォトリソグラフィを利用したプロセスに比べて生産が容易であり、再現性が良く、低コスト化が可能である等の利点を得ることができる。

#### 【0197】

また、エネルギービーム12を回折させることにより熱分布11を与えるようにしたので、回折格子13の周期間隔 $P$ を微細化することにより熱分布11の空間的周期 $T$ を容易に制御し、突起164の間隔 $L$ を微細化することができる。

#### 【0198】

更に、本変形例では、突起164の高さ方向における一部を被転写基板71に転写することにより、一枚の原盤165から多数の被転写基板171に突起164を転写して基板174を大量に作製することが可能になる。

#### 【0199】

##### 〔変形例12〕

次に、図50ないし図55を参照して変形例12を説明する。本変形例は、熔融工程において、第3の実施の形態のようにエネルギービームのエネルギー量を二次元方向すなわち $X$ 方向および $Y$ 方向に変調させるようにしたことを除いては、変形例11と同様である。したがって、以下の説明を簡略化する。

#### 【0200】

##### (熔融工程)

まず、第3の実施の形態のようにエネルギービームのエネルギー量を二次元方向すなわち $X$ 方向および $Y$ 方向に変調させることを除き、変形例11と同様にし、熔融工程を行う。ここで、素材基板10は、本変形例では金属触媒としての鉄( $Fe$ )により構成されている。

#### 【0201】

素材基板10の材料は、カーボンナノチューブを形成するための金属触媒とし

ての機能を有するものであればよく、その具体例は、第 1 の実施の形態において第 2 の物質として例示したものと同様である。

#### 【0202】

(突起形成工程、原盤作製工程)

次に、変形例 11 と同様にして突起形成工程および原盤作製工程を行う。これにより、図 50 に示したように、素材基板 10 の表面に二次元方向に配列された突起 181 のパターンを有する原盤 182 を形成する。

#### 【0203】

(転写工程)

続いて、変形例 11 と同様にして転写工程を行い、図 51 に示したように、被転写基板 171 の上に触媒金属（鉄）よりなる転写パターン 183 が二次元方向に配列された基板 184 を形成する。以上により、触媒配置工程が終了する。

#### 【0204】

(成長工程)

次に、変形例 11 と同様にして成長工程を行い、図 52 に示したように、転写パターン 183 を触媒として、基板 184 上にカーボンナノチューブ 185 を成長させ、複数のカーボンナノチューブ 185 が二次元方向に配列された陰極 186 を形成する。

#### 【0205】

図 53 は、このようにして基板 184 上に形成された陰極 186 を表す顕微鏡写真（37.5 倍）であり、二次元方向に配列された点状の白い部分は、原盤 182 の突起 181 から転写された転写パターン 183 を触媒として、基板 184 上に成長したカーボンナノチューブ 185 に対応している。

#### 【0206】

図 54 は、図 53 の白い部分の中央付近を拡大して表す SEM (Scanning Electron Microscope; 走査型電子顕微鏡) 写真（5 万倍）である。図 54 から分かるように、白い部分にはカーボンナノチューブが成長していることが確認できる。また、図 55 は、図 53 において白く見える部分と周囲の黒く見える部分との境界付近を拡大して表す SEM 写真（5 万倍）である。図 55 から分かるように

、白い部分にはカーボンナノチューブが成長していることが確認できるが、黒い部分にはカーボンナノチューブの存在は認められない。

#### 【0207】

このように本変形例では、エネルギービーム12のエネルギー量を二次元方向に変調させることにより熱分布33を形成するようにしたので、二次元方向に配列された突起181のパターンを有する原盤182を作製することができる。

#### 【0208】

更に、本変形例においても、突起181の先端部を被転写基板171に転写するようにすれば、一枚の原盤182から多数の被転写基板171に突起181を転写して基板184を大量に作製することが可能になる。

#### 【0209】

##### 〔変形例13〕

次に、図56および図57を参照して変形例13を説明する。本変形例は、第1の実施の形態の触媒配置工程の変形例であり、任意の材質により構成された素材基板に対して変形例11と同様の方法で形成した突起に、触媒金属等からなる金属基板を押し当てて、突起の先端に触媒金属を付着させるようにしたものである。

#### 【0210】

##### (溶融工程および突起形成工程)

まず、例えばシリコンよりなる素材基板190を用意し、上記変形例11と同様にして溶融工程および突起形成工程を行い、図56(A)に示したように、素材基板190の表面に突起191のパターンを形成する。

#### 【0211】

##### (付着工程)

続いて、図56(B)に示したように、素材基板190の突起191と、金属触媒としての鉄により形成された金属基板200とを対向させて密接させる。これにより、図56(C)に示したように、金属基板200を構成する鉄が、突起191の先端部に付着し、金属基板200と同一の材料よりなる付着パターン192を有する基板193が形成される。このとき、付着特性向上のため、加圧あ

るいは加熱処理を行うことが好ましいことは、前述の変形例 11 と同様である。

#### 【0212】

金属基板 200 の材料は、カーボンナノチューブを形成するための金属触媒としての機能を有するものであればよく、その具体例は、上記第 1 の実施の形態において第 2 の物質として例示したものと同様である。

#### 【0213】

以上により、触媒配置工程が完了する。

#### 【0214】

(陰極形成工程)

付着パターン 192 を有する基板 193 を形成したのち、例えば、図 57 に示したように、この付着パターン 192 を触媒として、基板 113 上にカーボンナノチューブ 114 を成長させ、カーボンナノチューブ 114 が直線状に配列されたカーボンナノチューブ構造体 115 を形成することができる。

#### 【0215】

このように本変形例では、突起 191 と金属基板 200 とを対向させて密接させ、突起 191 の先端部に金属基板 200 と同一の材料よりなる付着パターン 192 を形成するようにしたので、金属触媒からなる付着パターン 192 を容易に形成することができる。また、素材基板 190 の材料は任意であり、用途に応じて選択の範囲を広げることができる。

#### 【0216】

更に、本変形例でも、付着パターン 192 が形成された基板 193 を原盤として、突起 191 の先端部に付着した付着パターン 192 を被転写基板 171 に転写することにより、一枚の原盤から多数の被転写基板 171 に付着パターン 192 を転写して基板を大量に製造することができる。

#### 【0217】

以上、実施の形態および変形例を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態および変形例に限定されるものではなく、種々変形可能である。例えば、上記実施の形態では、パルスの照射回数によりエネルギービーム 12 のエネルギー量を調整するようにしたが、パルスの照射回数、照射強度およびパルス幅の

それぞれを調整することが可能である。

【0218】

また、上記実施の形態および変形例では、熱分布 11, 41 を回折格子 13, 32, 43 を用いて形成するようにしたが、ビームスプリッタおよびミラーを用いて形成してもよい。

【0219】

更に、上記実施の形態および変形例では、XeClエキシマレーザを用いてエネルギービーム 12 を照射するようにしたが、XeClエキシマレーザ以外のレーザを用いるようにしてもよく、更に、加熱手段として、変調により熱分布を形成できるものであれば、一般的な汎用の電気加熱炉（拡散炉）もしくはランプなどの他の方法により加熱するようにしてもよい。

【0220】

加えて、上記各実施の形態および上記変形例では、析出工程または突起形成工程での放熱を溶融工程を終了したのちの常温による自然冷却としたが、常温未満の温度により強制的に冷却して析出工程または突起形成工程を短縮することも可能である。

【0221】

更にまた、触媒機能を有する金属をを基板に配置する方法は、上記各実施の形態および上記変形例に限られない。例えば、触媒金属よりなる基板に突起を形成し、この突起の上面を平坦化するようにしてもよい。

【0222】

加えてまた、上記各実施の形態および上記変形例では、筒状炭素分子としてカーボンナノチューブを形成する場合について説明したが、本発明は、カーボンナノチューブに限らず、カーボンナノホーンあるいはカーボンナノファイバー等を形成する場合にも適用可能である。

【0223】

【発明の効果】

以上説明したように請求項 1 ないし請求項 19 のいずれか 1 項に記載の電界電子放出素子の製造方法、請求項 23 記載の電界電子放出素子、請求項 24 記載の

表示装置の製造方法または請求項 26 記載の表示装置によれば、変調された熱分布による溶融を利用して、筒状炭素分子の触媒機能を有する金属を基板に配置する触媒配置工程と、筒状炭素分子を成長させて陰極を形成する陰極形成工程とを含むようにしたので、熱分布を制御することにより、従来のフォトリソグラフィでは不可能であった微細な幅および間隔のパターンで触媒金属を配置し、このパターン通りに筒状炭素分子が規則正しく配列された陰極を得ることができる。

#### 【0224】

請求項 20 ないし請求項 22 のいずれか 1 項に記載の電界電子放出素子、または請求項 25 記載の表示装置によれば、基板上に形成された複数の陰極が、分離溝によって互いに分離されているので、これらの陰極に対して選択的に電圧を印加して独立に駆動することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態に係る電界電子放出素子の製造方法および FED の製造方法における溶融工程を模式的に表す斜視図である。

##### 【図 2】

図 1 に続く工程（析出工程）を模式的に表す斜視図である。

##### 【図 3】

図 2 に続く工程（陰極形成工程）を模式的に表す斜視図である。

##### 【図 4】

図 3 に続く工程（分離溝形成工程）を模式的に表す平面図である。

##### 【図 5】

図 4 に続く工程（分離溝形成工程）を模式的に表す平面図である。

##### 【図 6】

図 5 に示した陰極を有する電界電子放出素子を用いた FED の概略構成を表す斜視図である。

##### 【図 7】

本発明の変形例 1 に係る分離溝形成工程を模式的に表す平面図である。

##### 【図 8】

本発明の変形例 2 に係る電界電子放出素子の製造方法における分離溝形成工程を模式的に表す斜視図である。

【図 9】

図 8 に続く工程（分離溝形成工程）を模式的に表す斜視図である。

【図 10】

図 9 に続く工程（陰極形成工程）を模式的に表す斜視図である。

【図 11】

本発明の変形例 3 に係る分離溝形成工程を模式的に表す斜視図である。

【図 12】

本発明の第 2 の実施の形態に係る電界電子放出素子の製造方法および FED の製造方法における析出工程を模式的に表す斜視図である。

【図 13】

図 12 に示した析出領域の変形例を表す断面図である。

【図 14】

図 12 に示した析出領域の他の変形例を表す断面図である。

【図 15】

図 12 に続く工程（陰極形成工程）を模式的に表す断面図である。

【図 16】

図 15 に続く工程（陰極形成工程）を模式的に表す斜視図である。

【図 17】

図 16 に続く工程（分離溝形成工程）を模式的に表す斜視図である。

【図 18】

図 17 に示した陰極を有する電界電子放出素子を用いた FED の概略構成を表す斜視図である。

【図 19】

本発明の変形例 4 に係る陰極形成工程を模式的に表す断面図である。

【図 20】

本発明の変形例 5 に係る陰極形成工程を模式的に表す斜視図である。

【図 21】

図 20 に続く工程（陰極形成工程）を模式的に表す断面図である。

【図 22】

本発明の変形例 6 に係る陰極形成工程を模式的に表す断面図である。

【図 23】

本発明の変形例 7 に係る触媒配置工程における還元析出工程を模式的に表す断面図である。

【図 24】

本発明の第 3 の実施の形態に係る電界電子放出素子の製造方法および FED の製造方法における溶融工程を模式的に表す斜視図である。

【図 25】

図 24 に示した素材基板の表面に形成されている熱分布の一例を模式的に表す平面図である。

【図 26】

図 25 に示した熱分布の他の例を表す平面図である。

【図 27】

図 24 に続く工程（析出工程）を模式的に表す斜視図である。

【図 28】

図 27 に示した基板の表面の一部を拡大して表す平面図である。

【図 29】

図 27 に続く工程（陰極形成工程）を模式的に表す斜視図である。

【図 30】

図 26 に示した熱分布を形成したのちに析出工程を行った場合における基板の表面の一部を拡大して表す平面図である。

【図 31】

図 29 に続く工程（分離溝形成工程）を模式的に表す斜視図である。

【図 32】

図 31 に示した陰極を有する電界電子放出素子を用いた FED の概略構成を表す斜視図である。

【図 33】



本発明の変形例 8 に係る分離溝形成工程を模式的に表す斜視図である。

【図 3 4】

本発明の変形例 9 に係る析出工程を模式的に表す斜視図である。

【図 3 5】

図 3 4 に示した基板の表面の一部を拡大して表す平面図である。

【図 3 6】

図 3 4 に続く工程（陰極形成工程）を模式的に表す斜視図である。

【図 3 7】

本発明の第 4 の実施の形態に係る電界電子放出素子の製造方法および F E D の製造方法における析出工程および分離溝形成工程を模式的に表す断面図である。

【図 3 8】

図 3 7 に続く工程（引き出し電極形成工程）を模式的に表す断面図である。

【図 3 9】

図 3 8 に続く工程（陰極形成工程）を模式的に表す断面図である。

【図 4 0】

図 3 9 に示した陰極を有する電界電子放出素子を用いた F E D の概略構成を表す断面図である。

【図 4 1】

本発明の変形例 10 に係る触媒配置工程における突起形成工程、分離溝形成工程および抑制層形成工程を模式的に表す断面図である。

【図 4 2】

図 4 1 に続く工程（引き出し電極形成工程）を模式的に表す断面図である。

【図 4 3】

図 4 2 に続く工程（陰極形成工程）を模式的に表す断面図である。

【図 4 4】

本発明の第 5 の実施の形態に係る電界電子放出素子の製造方法における高さ均一化工程を模式的に表す断面図である。

【図 4 5】

本発明の変形例 11 に係る触媒配置工程における突起形成工程を模式的に表す

斜視図である。

【図 4 6】

図 4 5 に続く工程（転写工程）を模式的に表す断面図である。

【図 4 7】

図 4 6 に示した転写パターンの変形例を表す断面図である。

【図 4 8】

図 4 6 に示した転写パターンの他の変形例を表す断面図である。

【図 4 9】

図 4 6 に続く工程（成長工程）を模式的に表す断面図である。

【図 5 0】

本発明の変形例 1 2 に係る触媒配置工程における突起形成工程を模式的に表す斜視図である。

【図 5 1】

図 5 0 に続く工程（転写工程）を模式的に表す斜視図である。

【図 5 2】

図 5 1 に続く工程（成長工程）を模式的に表す斜視図である。

【図 5 3】

図 5 2 に示した陰極の顕微鏡写真である。

【図 5 4】

図 5 3 に示した白い部分の中央付近を拡大して表す S E M 写真である。

【図 5 5】

図 5 3 に示した白い部分と黒い部分との境界付近を拡大して表す S E M 写真である。

【図 5 6】

本発明の変形例 1 3 に係る触媒配置工程を模式的に表す断面図である。

【図 5 7】

図 5 6 に続く工程（成長工程）を模式的に表す断面図である。

【図 5 8】

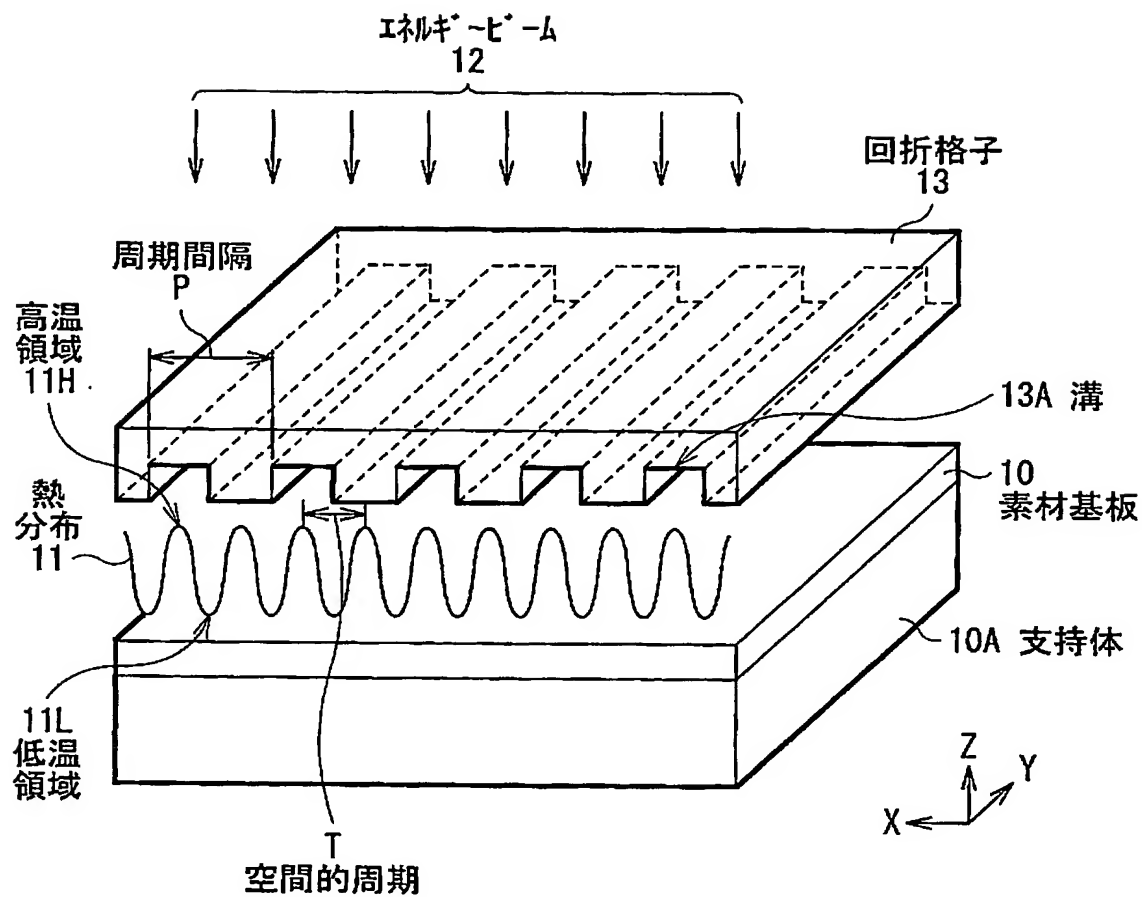
従来の F E D の構造を模式的に表す断面図である。

## 【符号の説明】

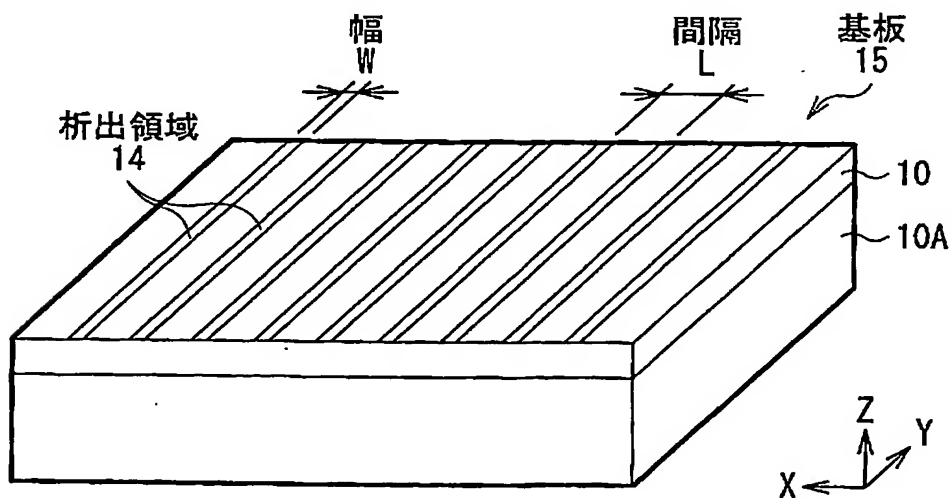
10, 190…素材基板、11, 41, 83…熱分布、11H, 41H, 83H…高温領域、11L, 83L…低温領域、12…エネルギービーム、13, 43, 82…回折格子、13A…溝、14, 52, 73, 84, 102…析出領域、15, 53, 72, 85, 103, 137, 174, 184, 193…基板、16, 54, 86, 104, 145, 175, 185, 194…カーボンナノチューブ、16A…開放端、17, 55, 87, 105, 146, 176, 186, 195…陰極、18, 58, 88, 135…分離溝、20, 60, 90, 120…カソードパネル、21R, 21G, 21B, 61R, 61G, 61B, 91R, 91G, 91B, 121R, 121G, 121B…カソード電極、22, 62, 92…データドライバ、30…アノードパネル、31…透明基板、32R, 32G, 32B…アノード電極、33R, 33G, 33B…蛍光体膜、34…スキヤンドドライバ、51, 56A, 101, 134, 164, 181, 191…突起、56…電極、56B…突起電極、57…第2の物質、71…触媒溶液、81X…X方向熱分布、81XH…X方向高温領域、81XL…X方向低温領域、81Y…Y方向熱分布、81YH…Y方向高温領域、81YL…Y方向低温領域、82A…非透過部分、82B…透過部分、111, 141…絶縁膜、112, 142, 172…導電性膜、113, 143…開口部、114, 114R, 114G, 114B, 144…引き出し電極、134A…最先端部分、136…抑制層、151…固定層、165, 182…原盤、171…被転写基板、173, 183…転写パターン、192…付着パターン、200…金属基板、H…水平面、L…間隔（ピッチ）、P, PX, PY…周期間隔、T…空間的周期、W…幅

【書類名】 図面

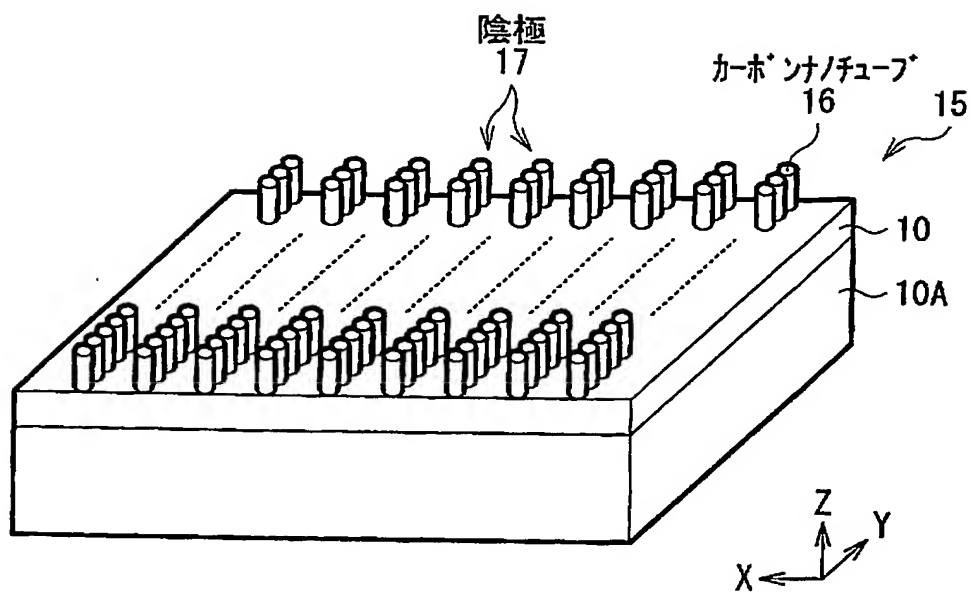
【図 1】



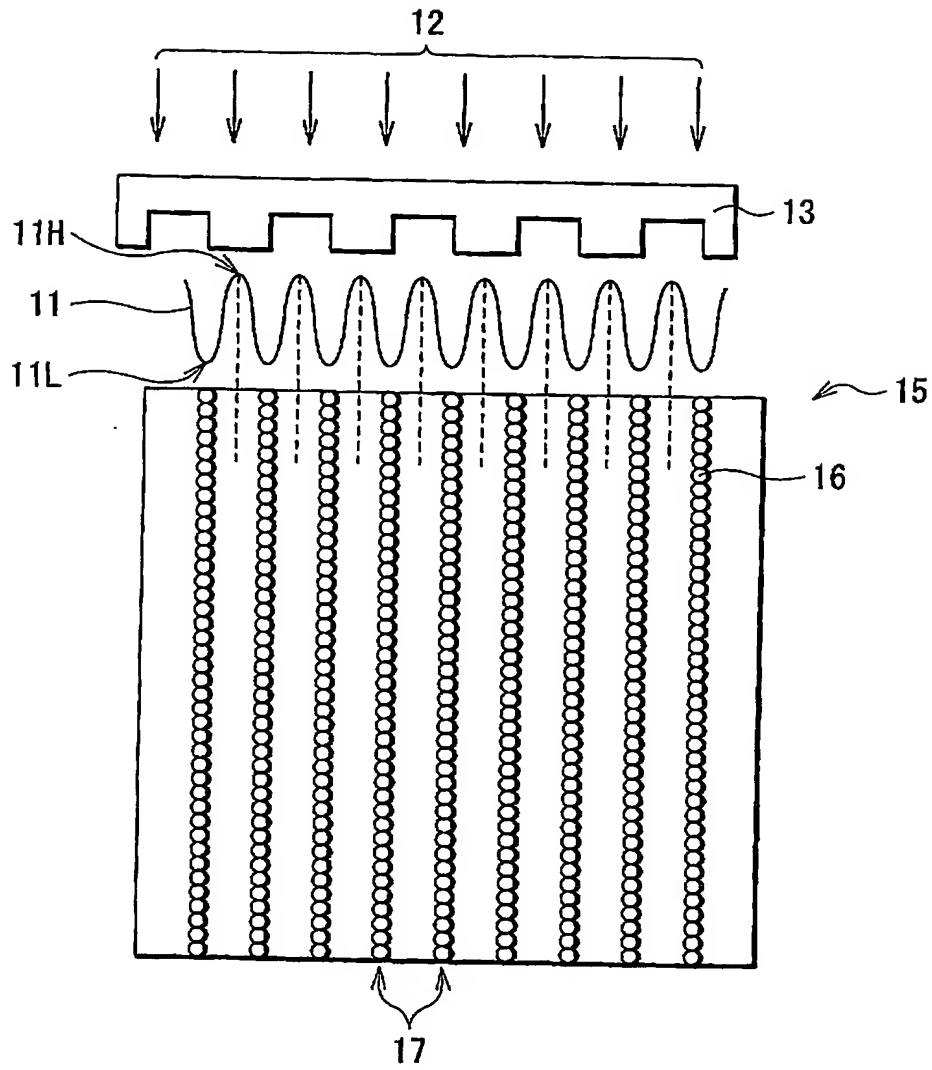
【図 2】



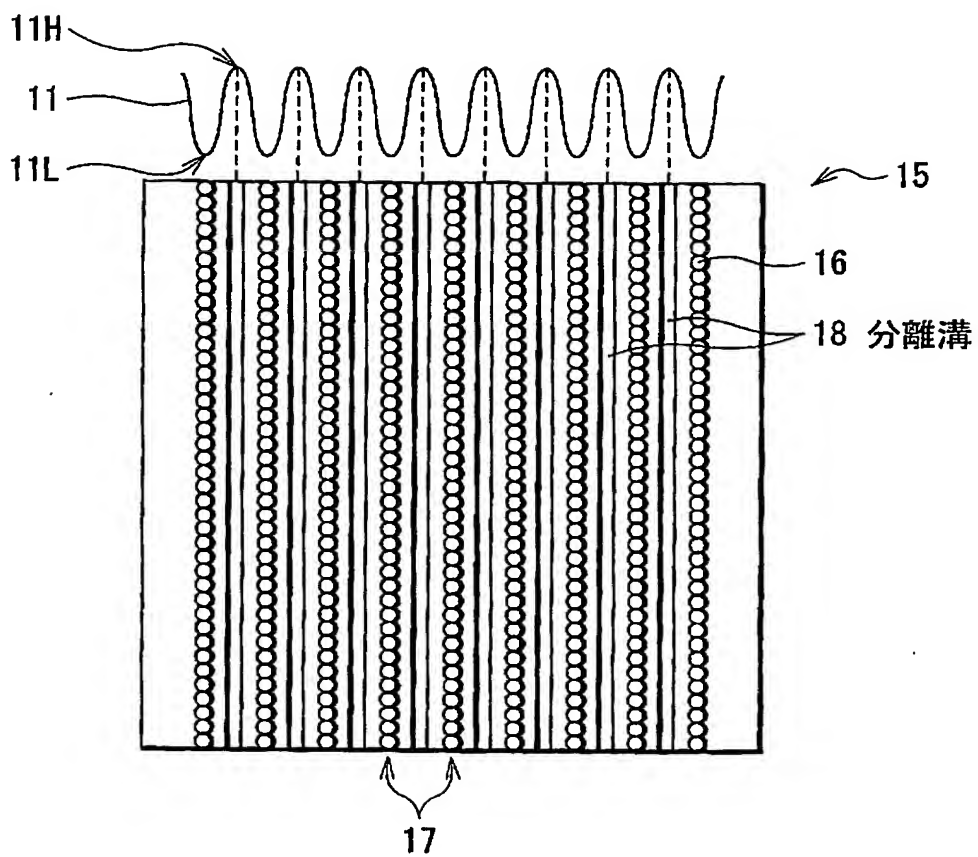
【図 3】



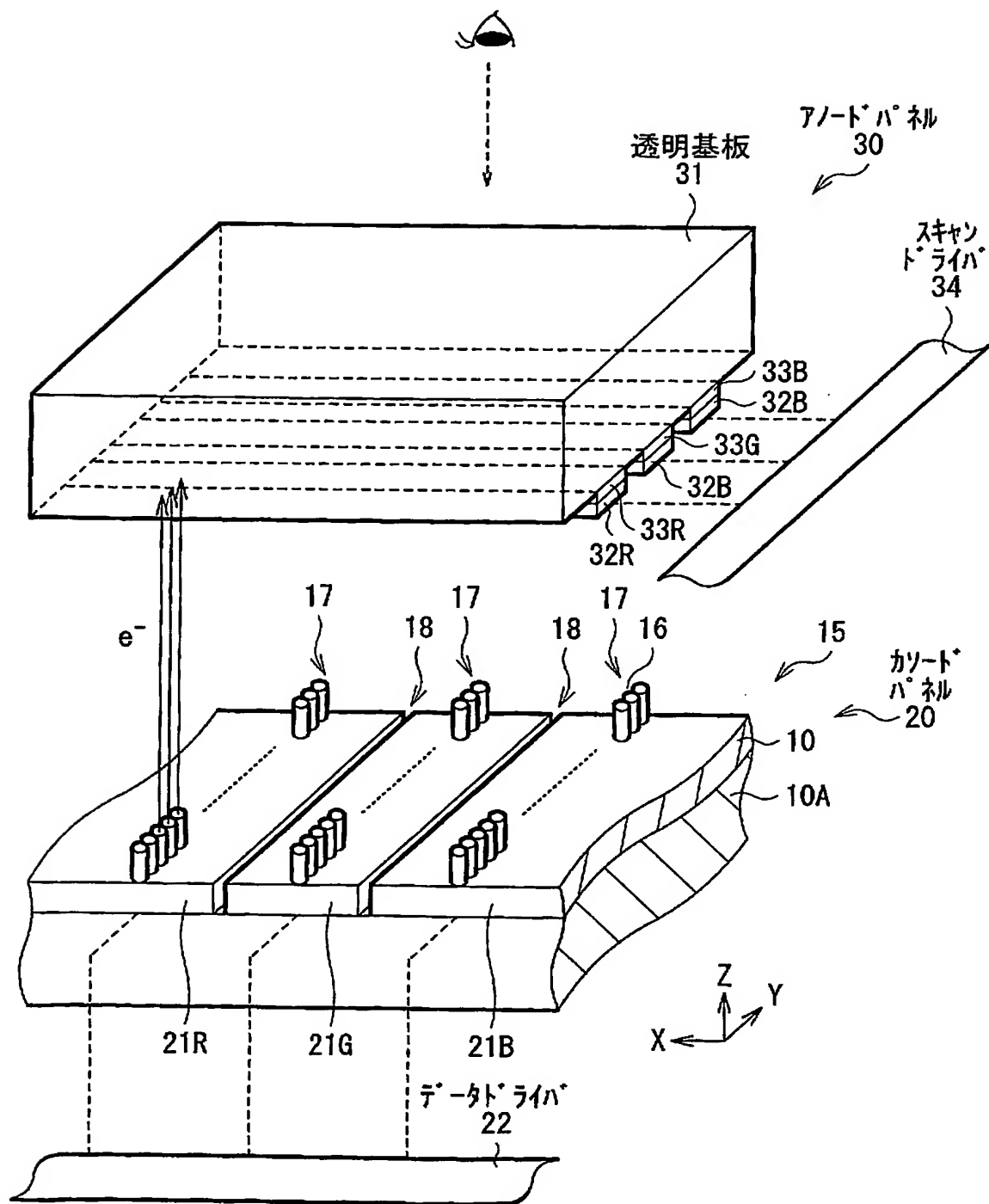
【図 4】



【図 5】

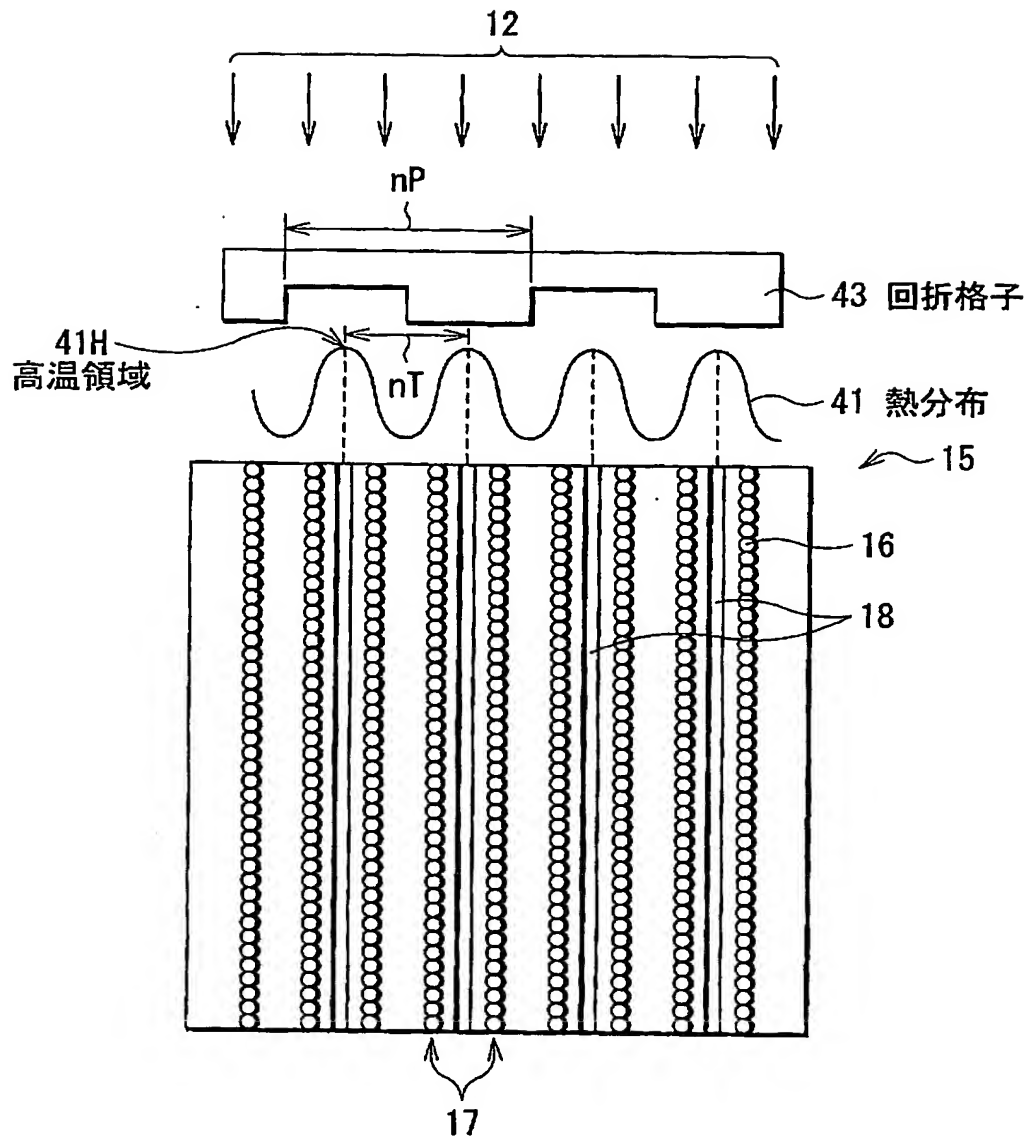


【図6】

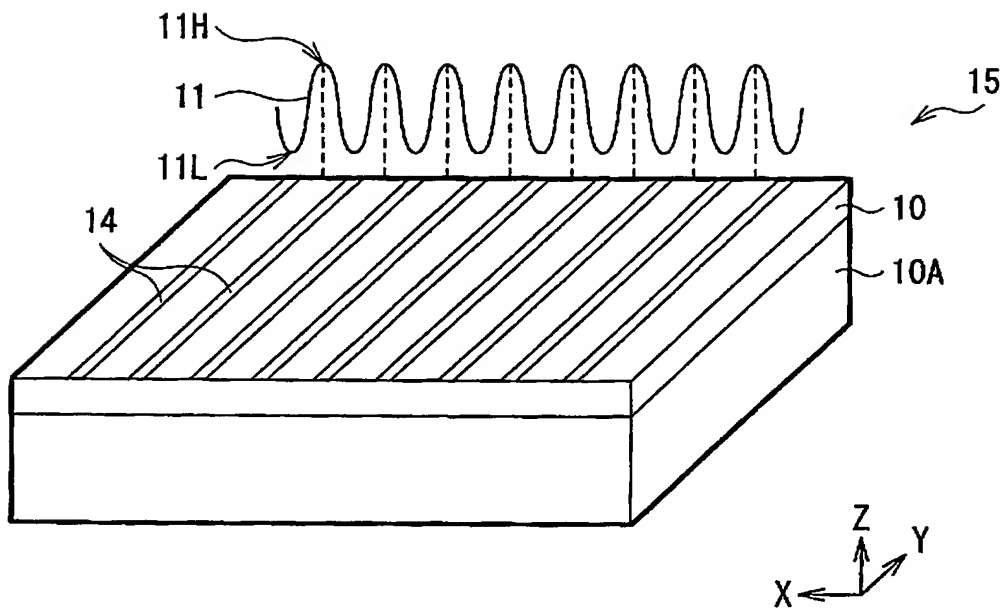




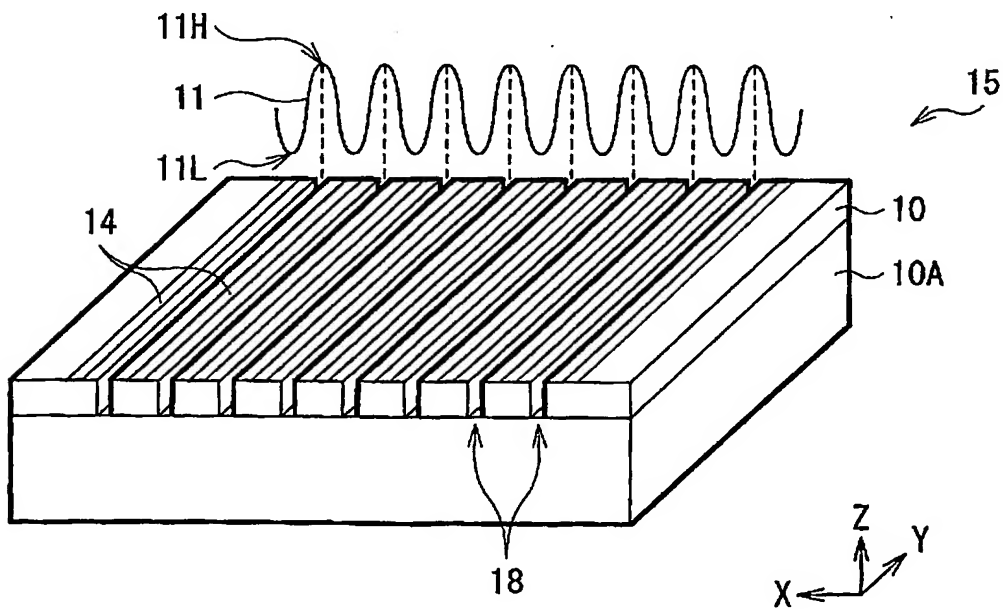
【図 7】



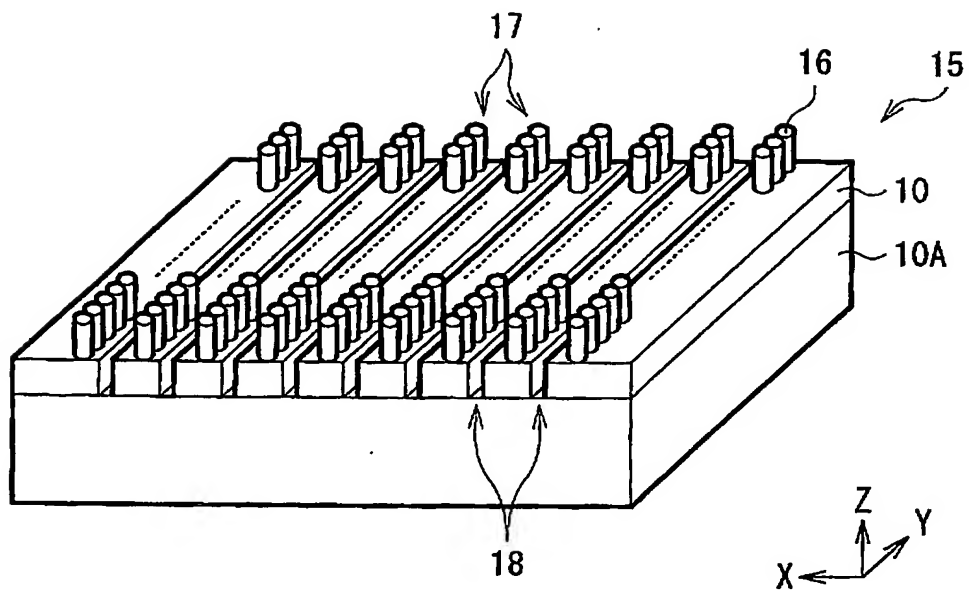
【図 8】



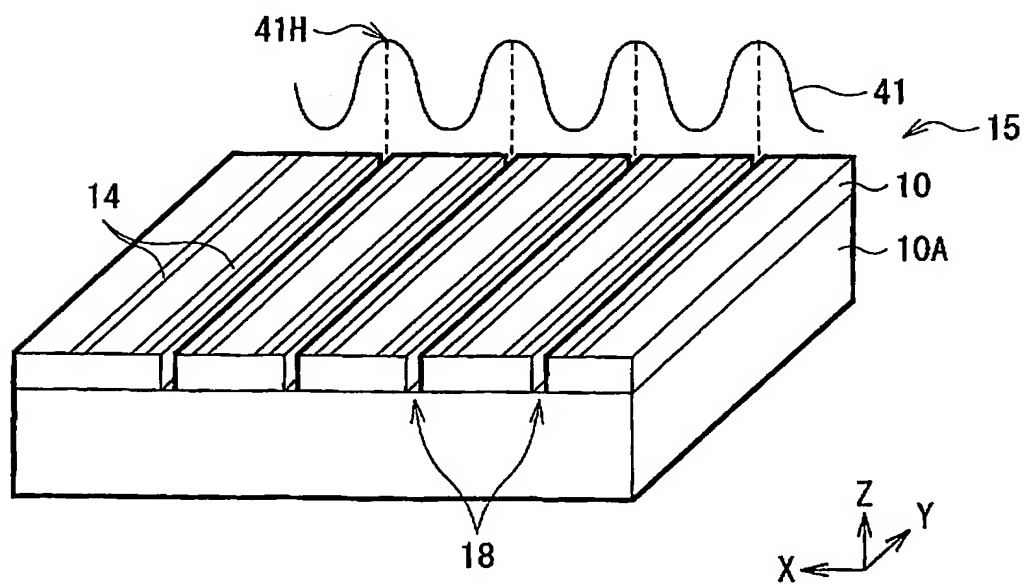
【図 9】



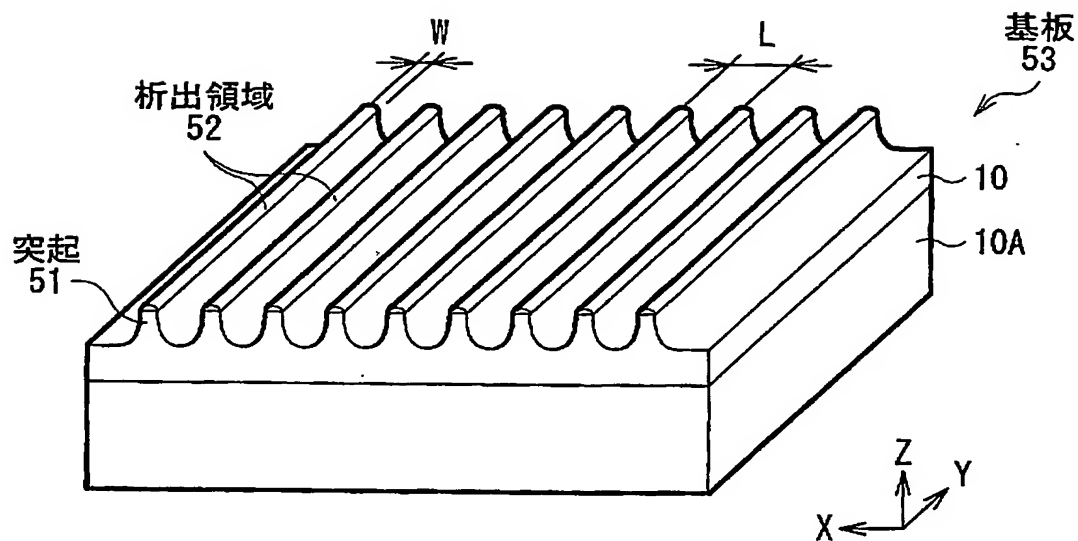
【図 10】



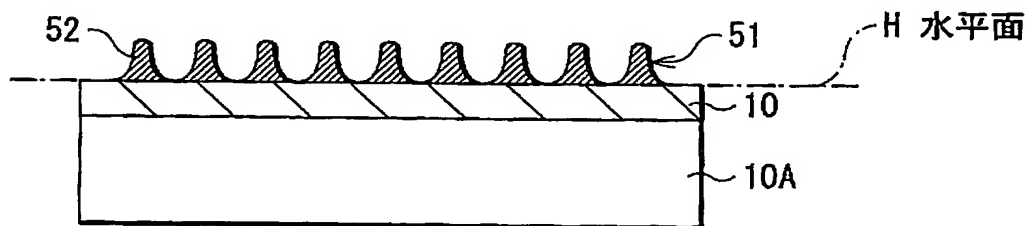
【図 11】



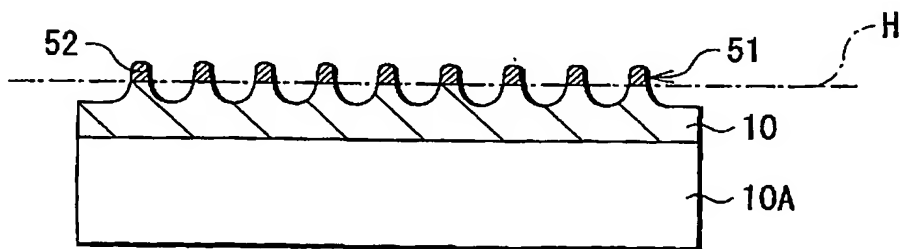
【図 1 2】



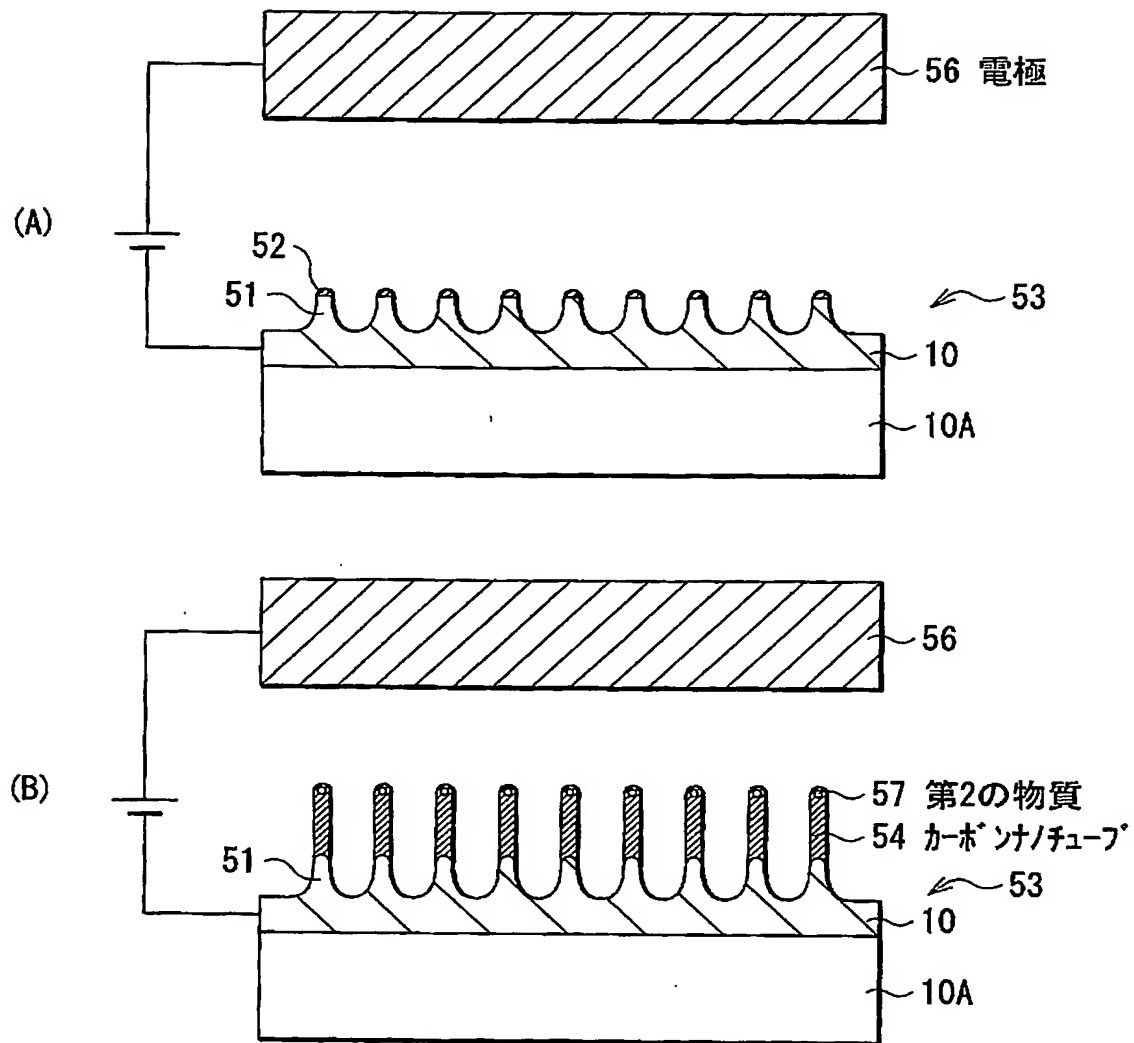
【図 1 3】



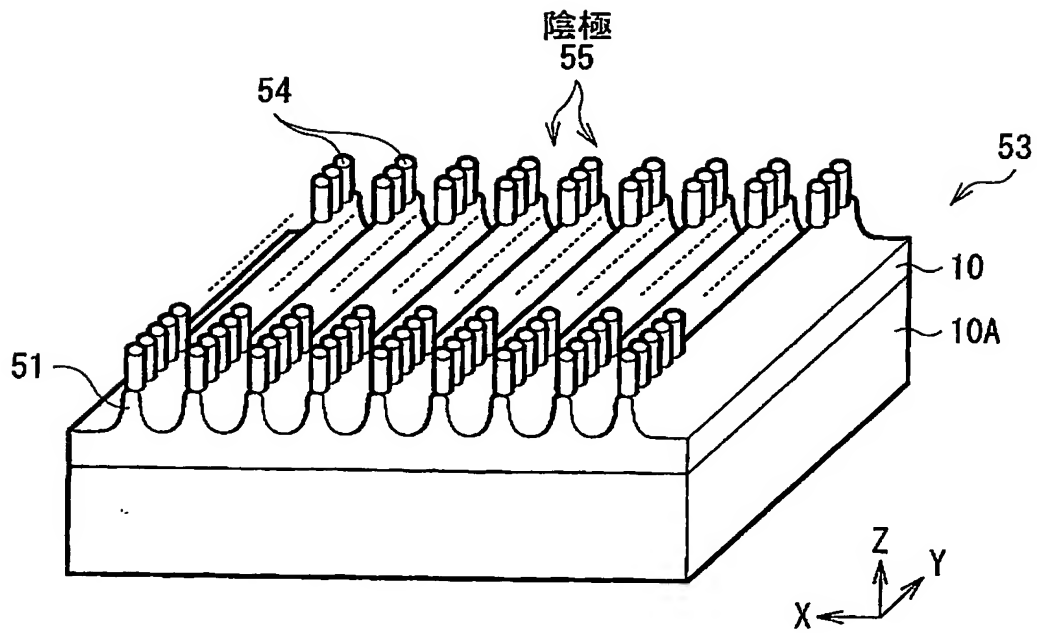
【図 1 4】



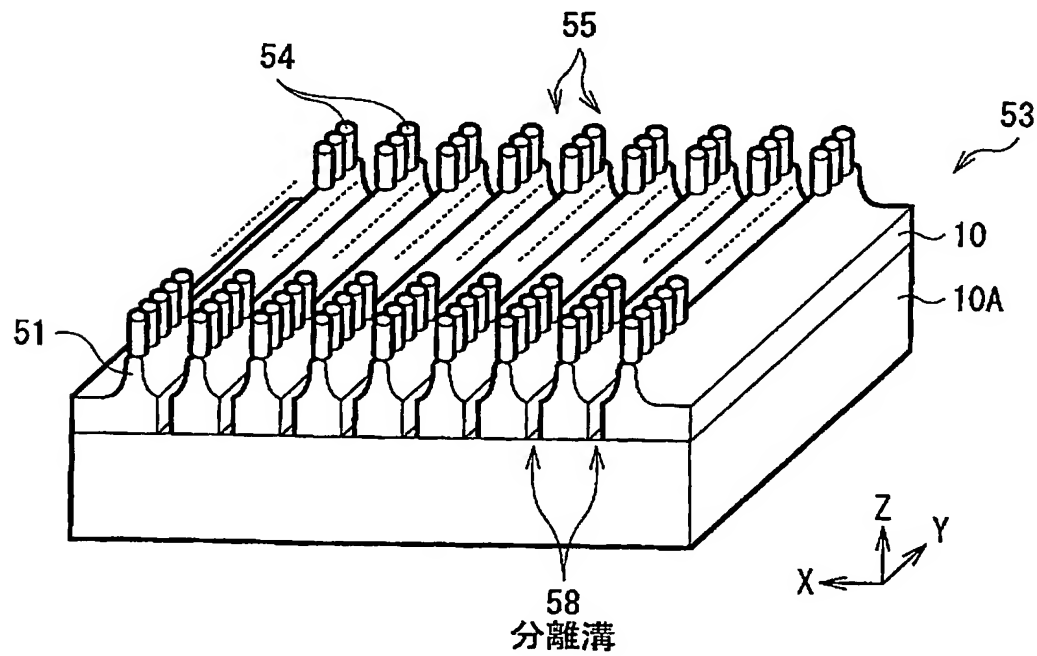
【図 15】



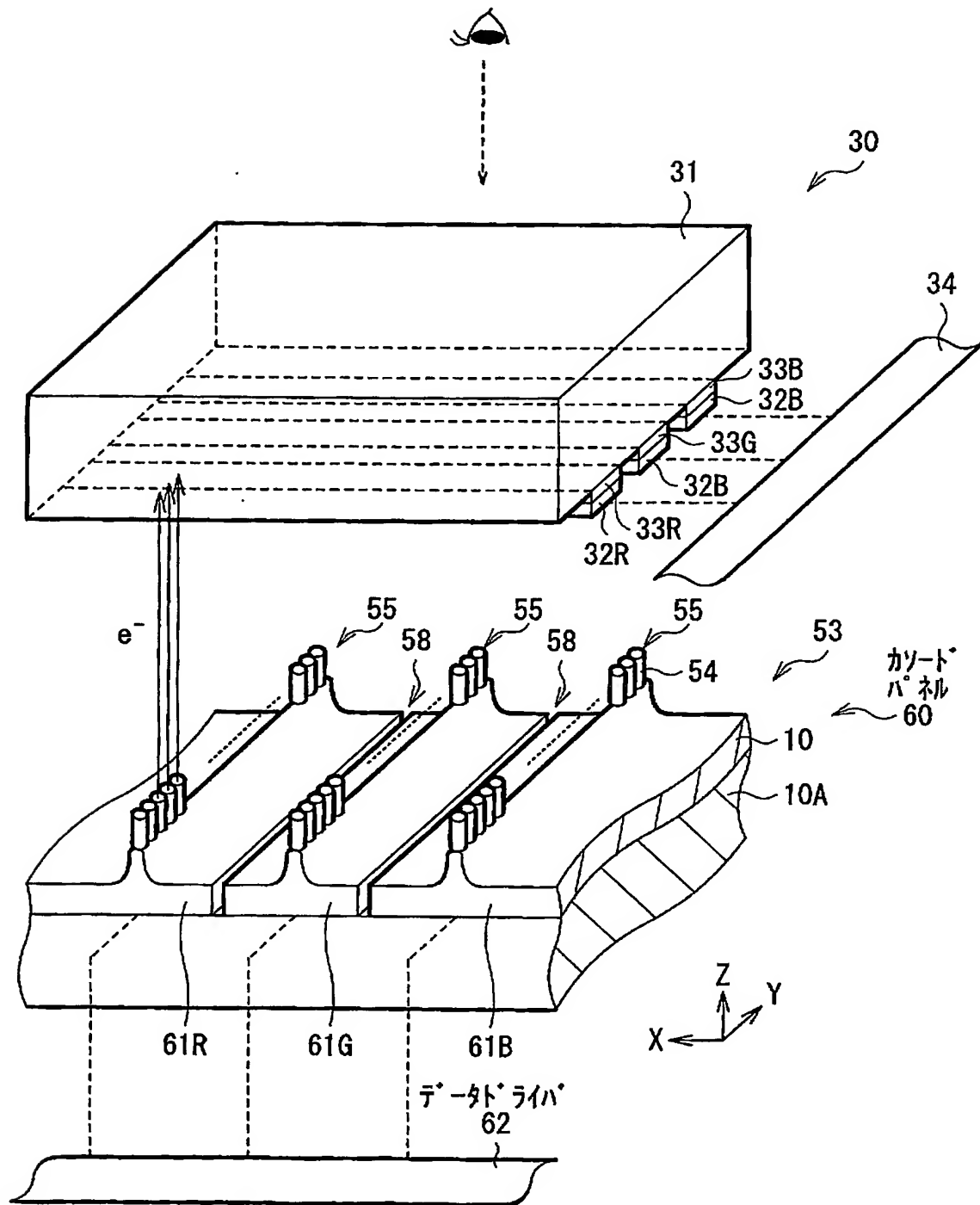
【図 16】



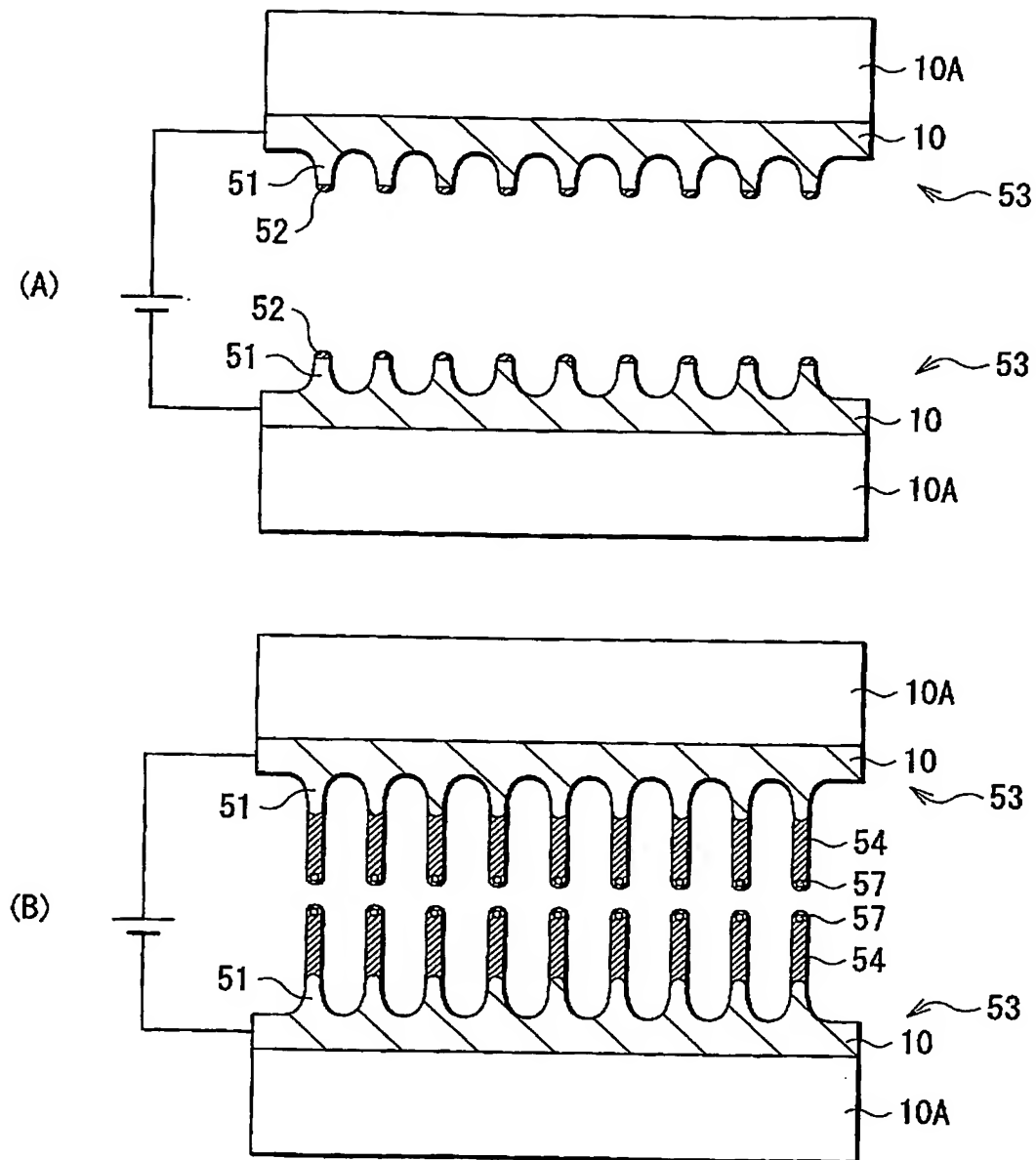
【図 17】



【図 18】

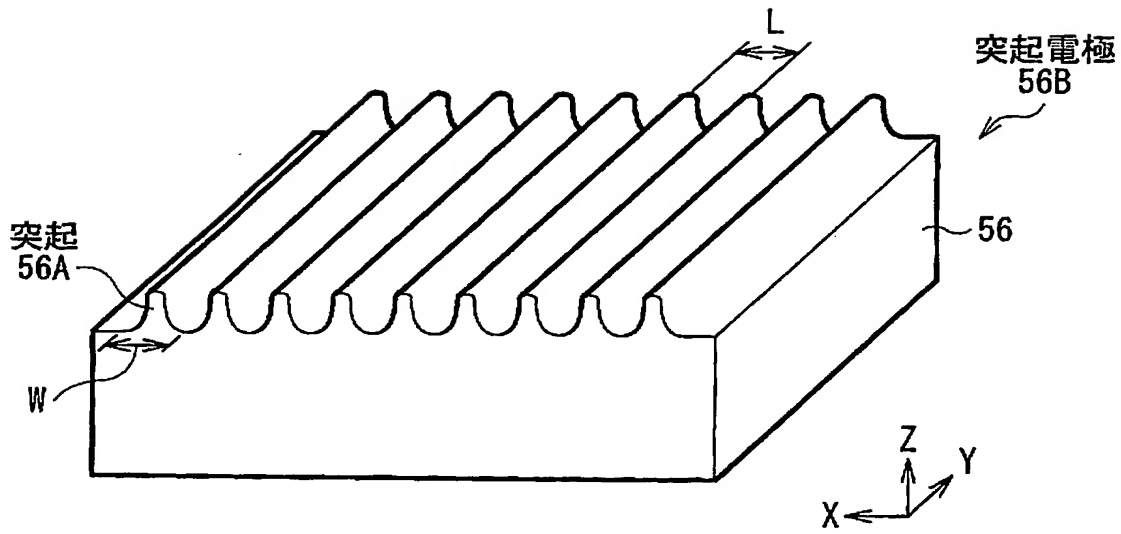


【図 19】

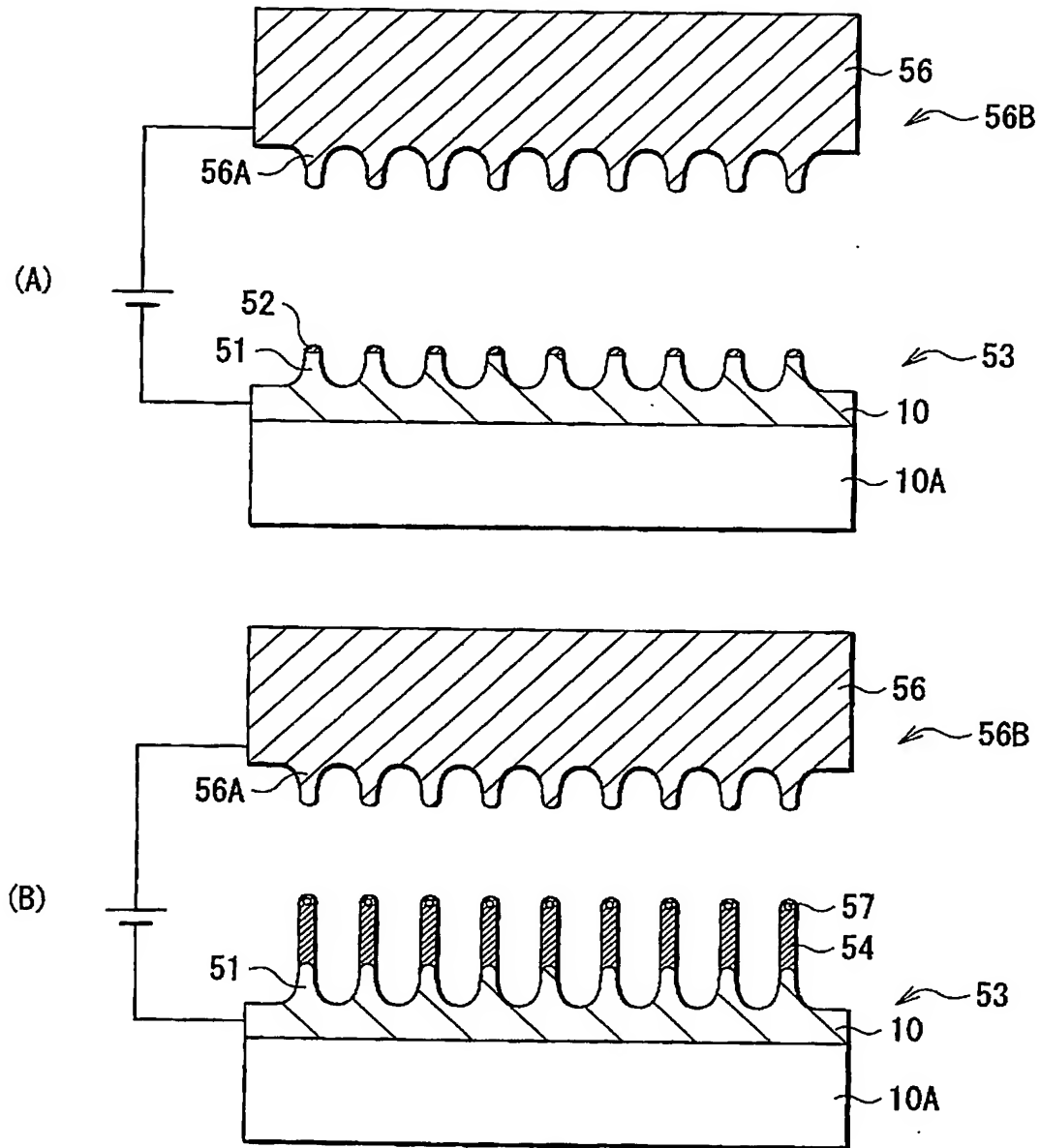




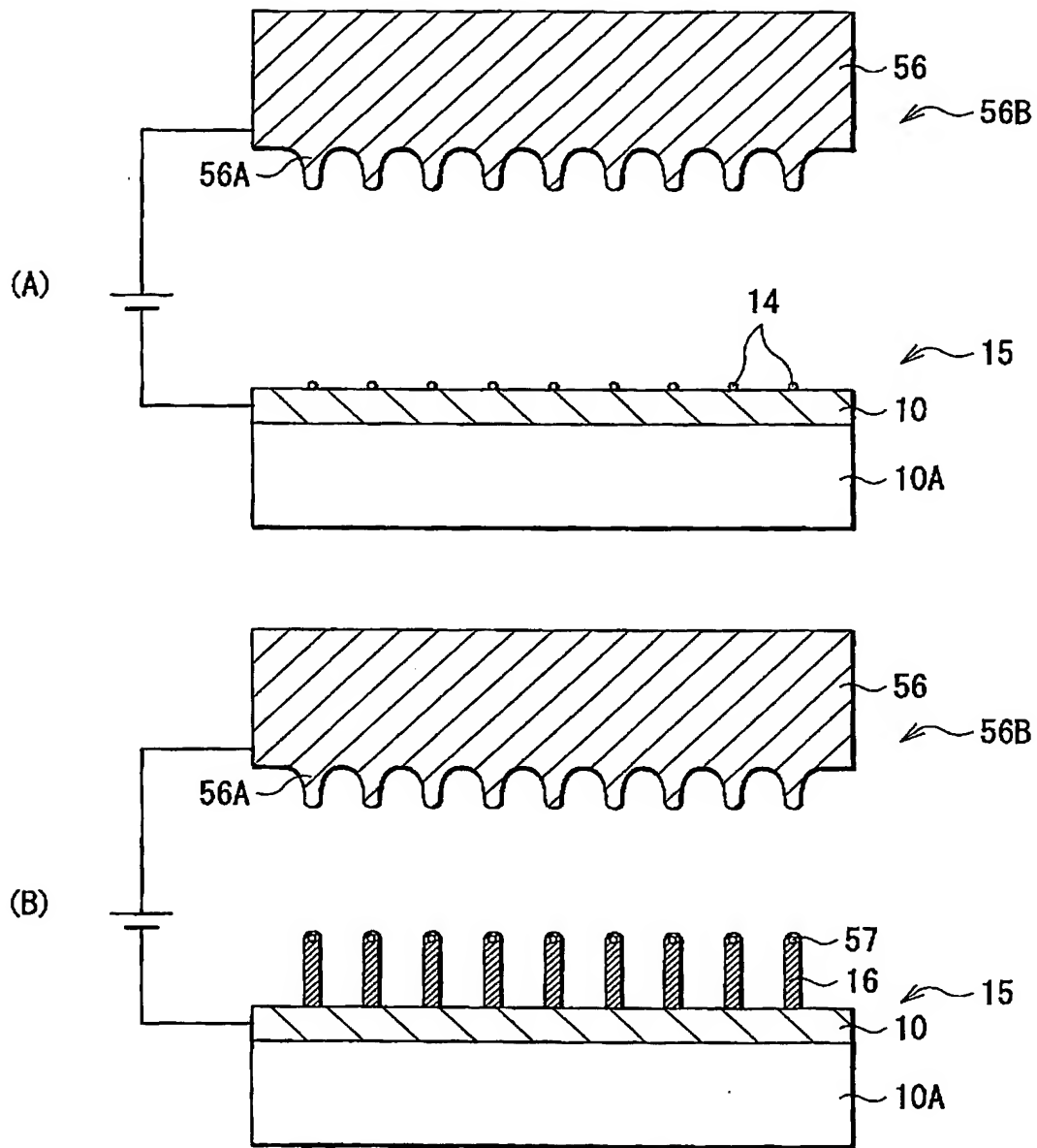
【図 20】



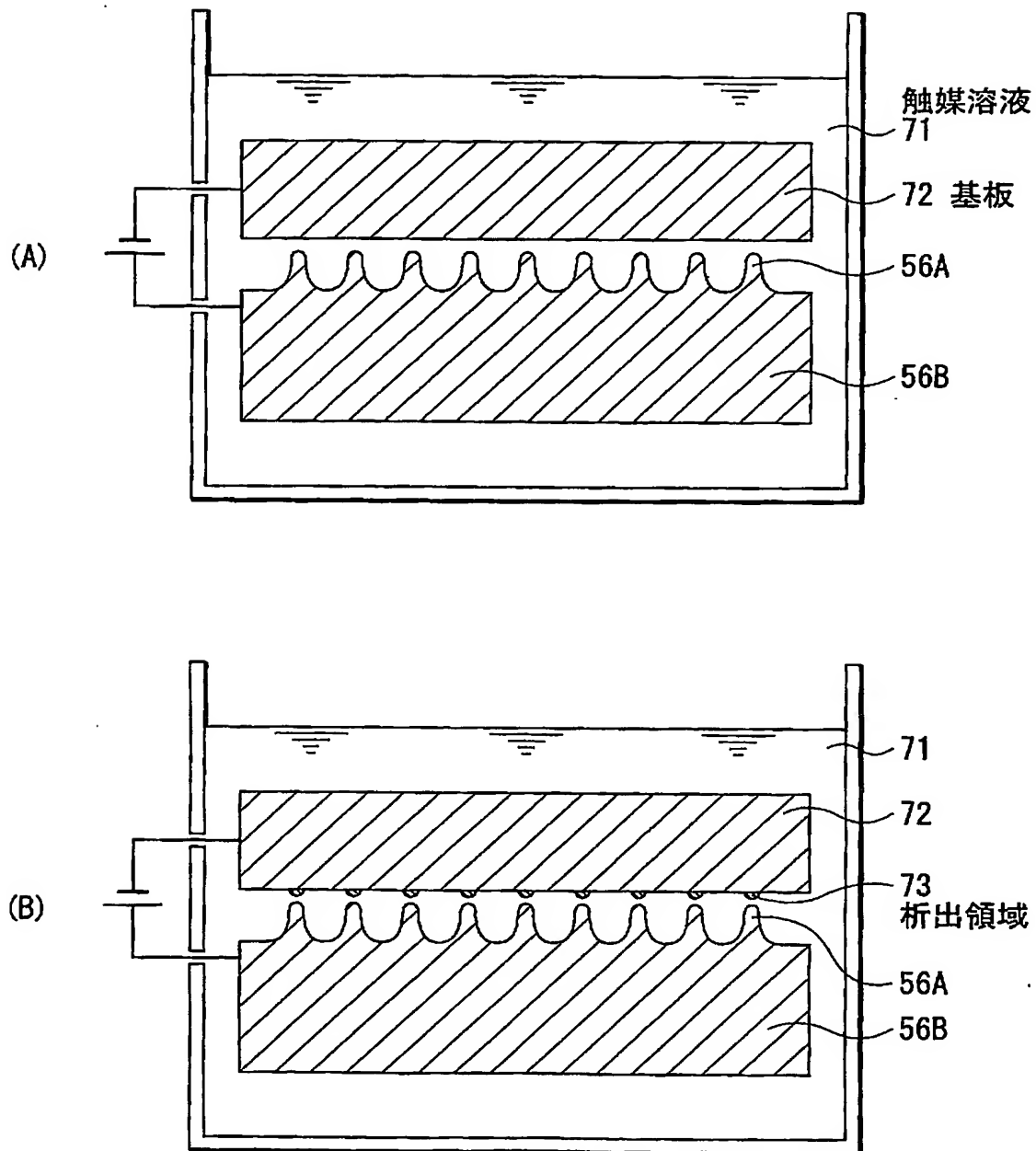
【図 21】



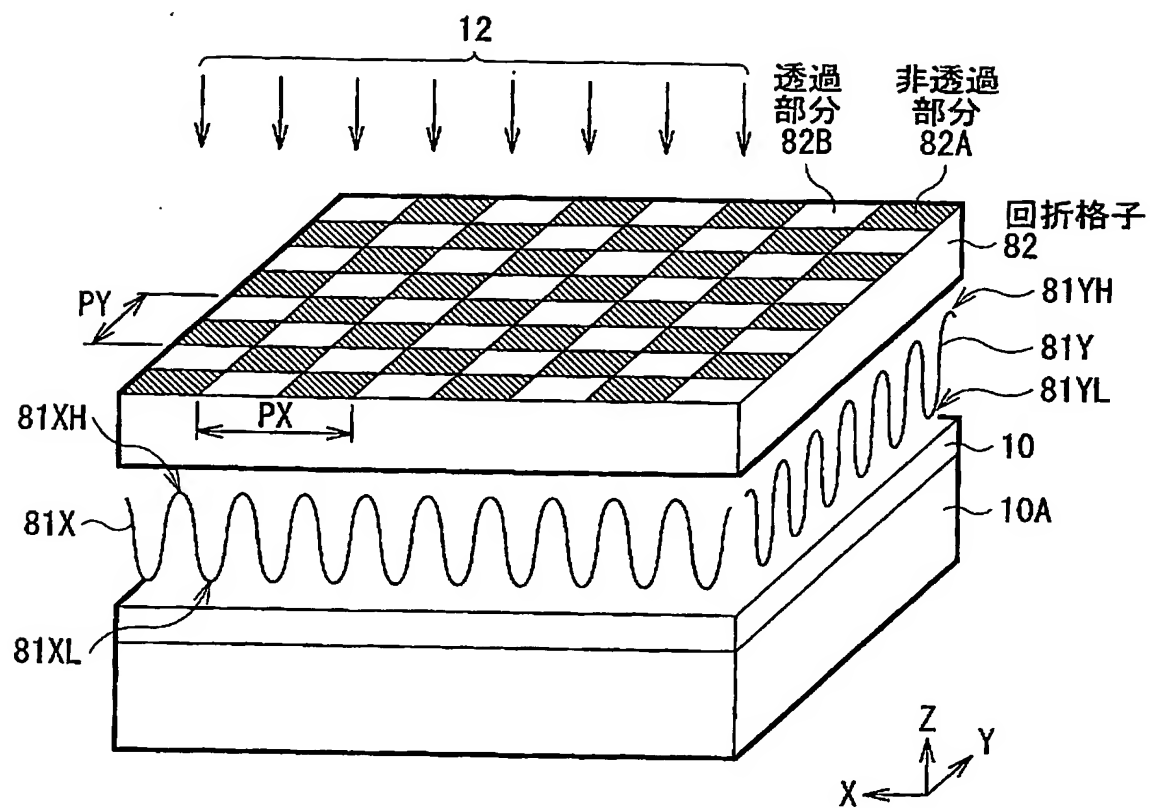
【図 22】



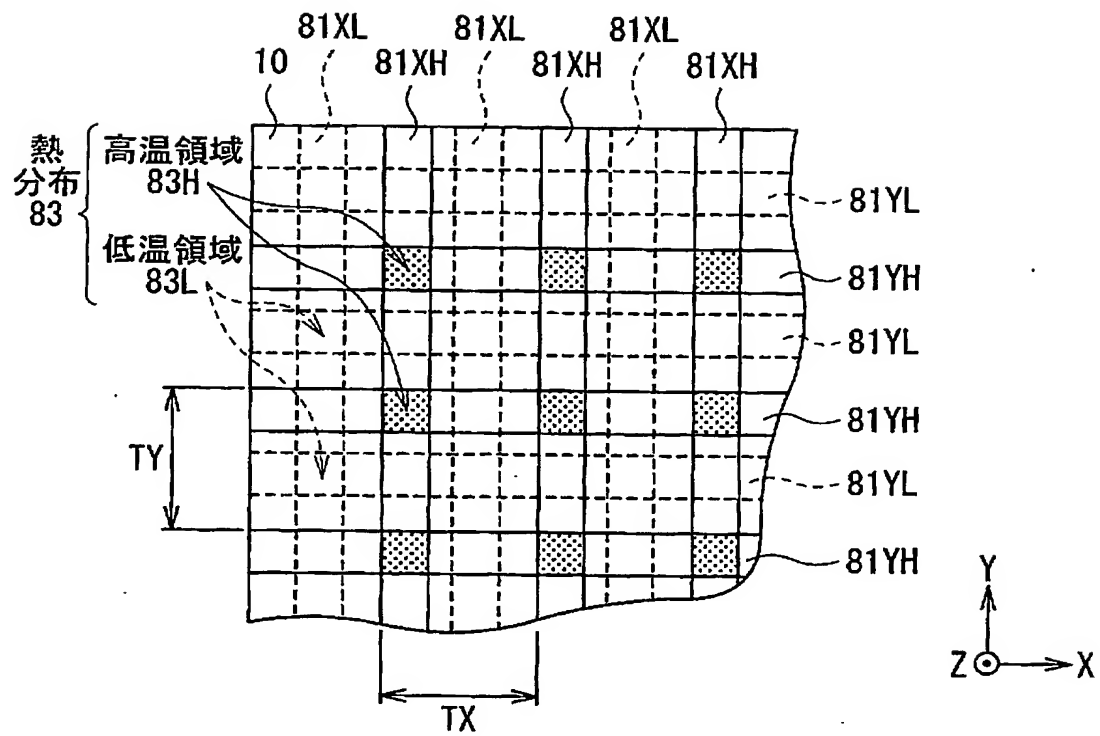
【図 23】



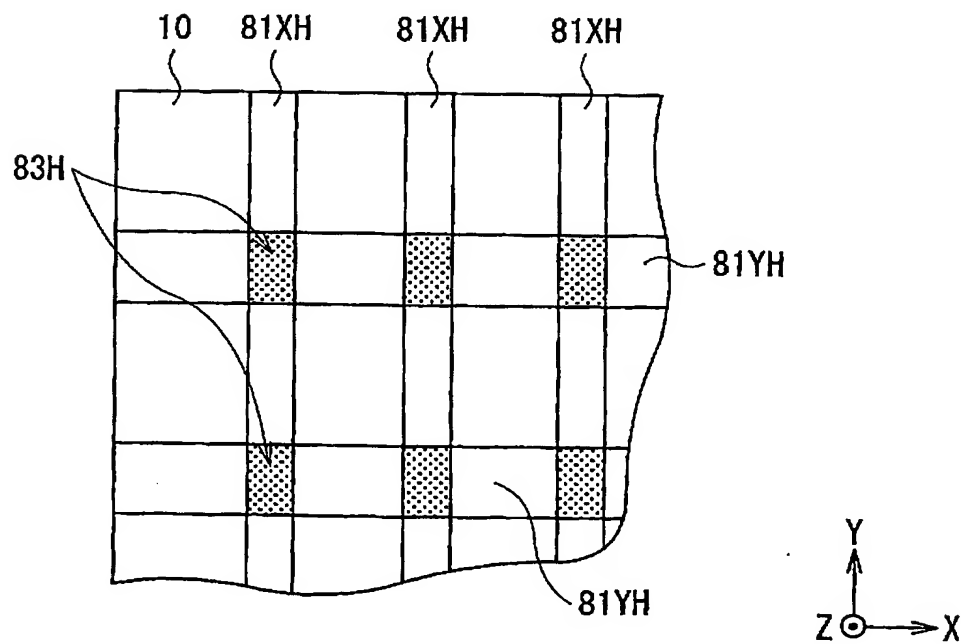
【図 24】



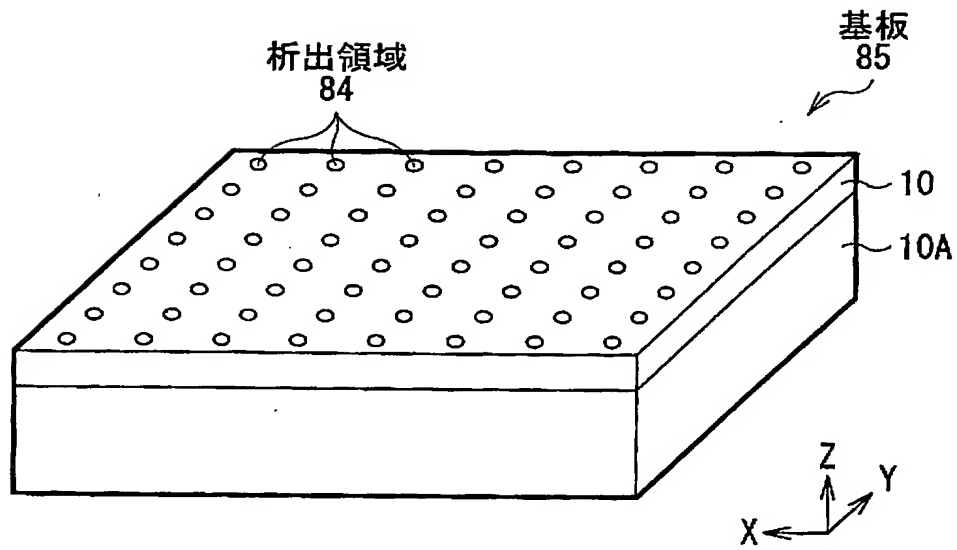
【図 25】



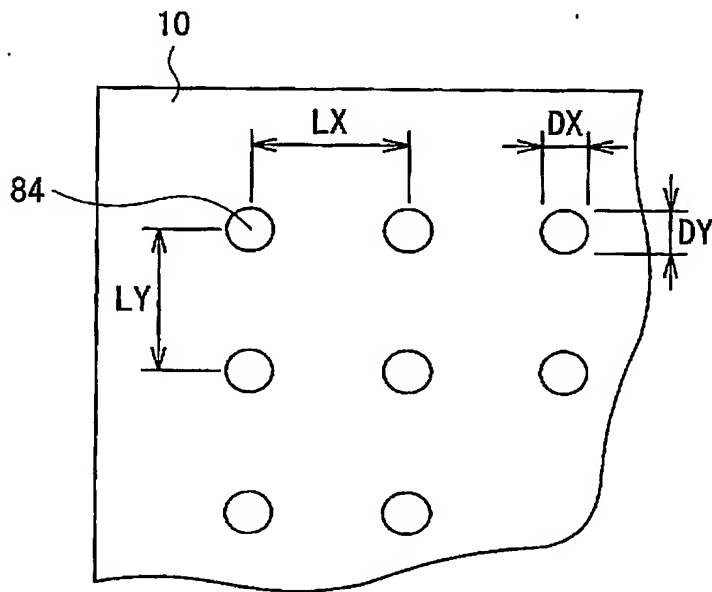
【図 26】



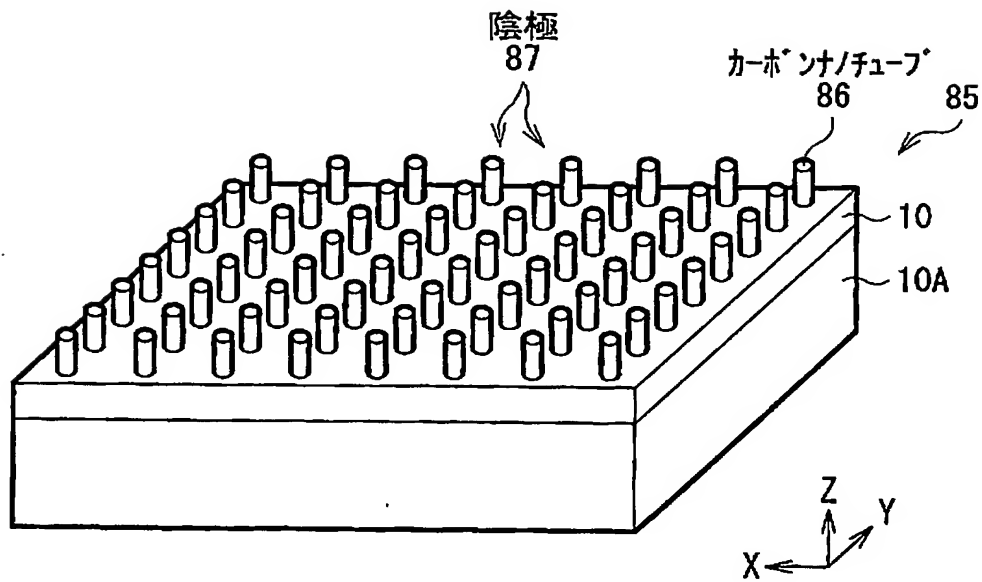
【図 27】



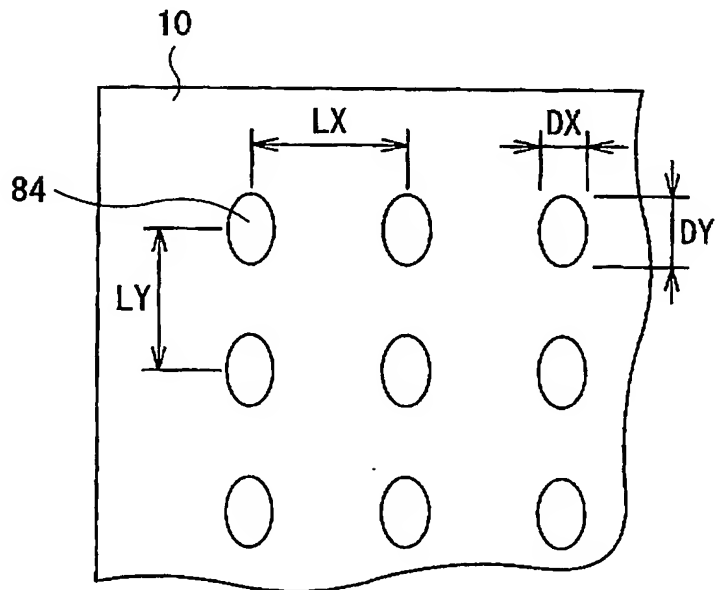
【図 28】



【図 29】

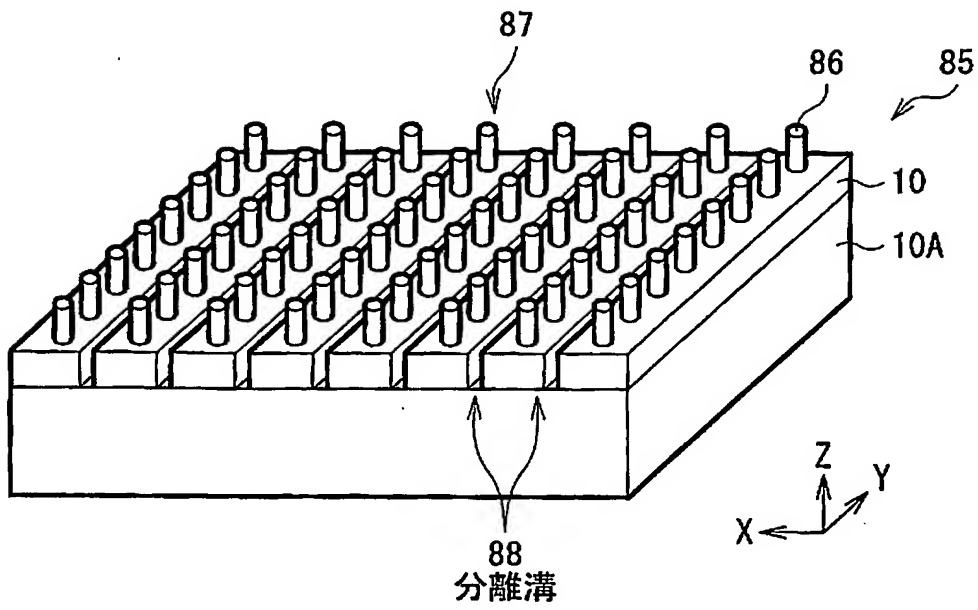


【図 30】

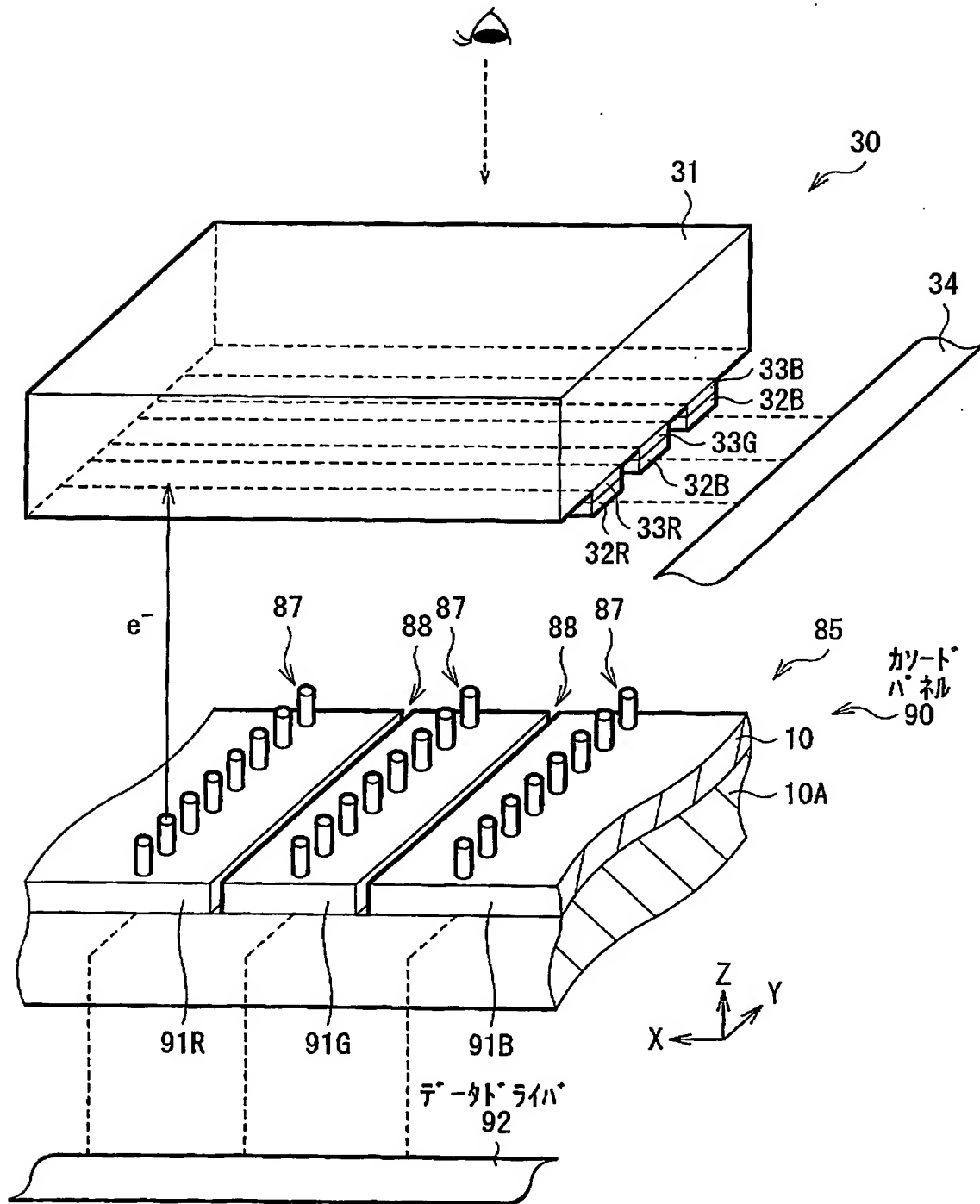




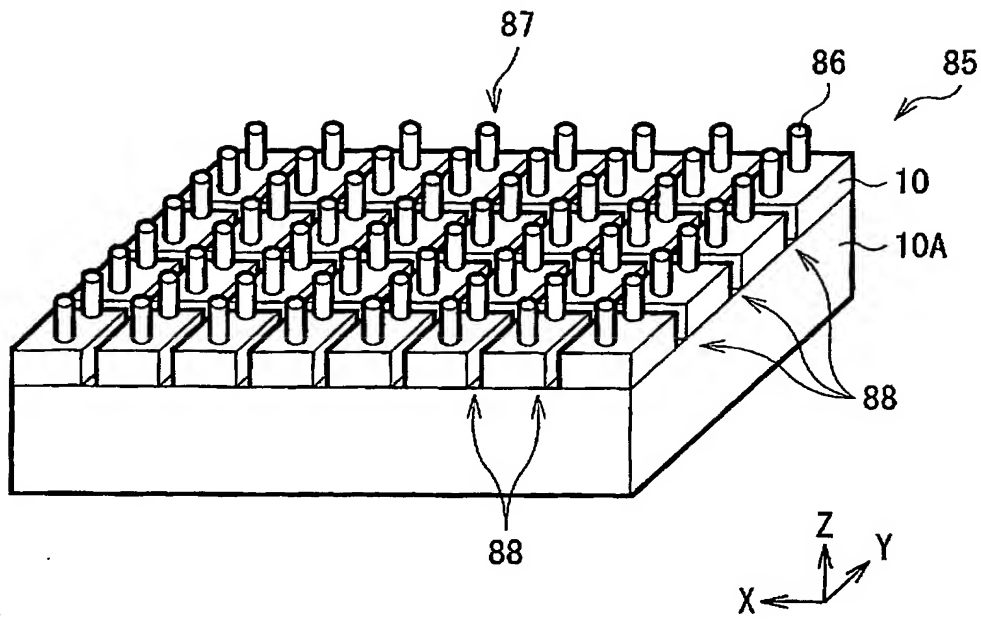
【図 31】



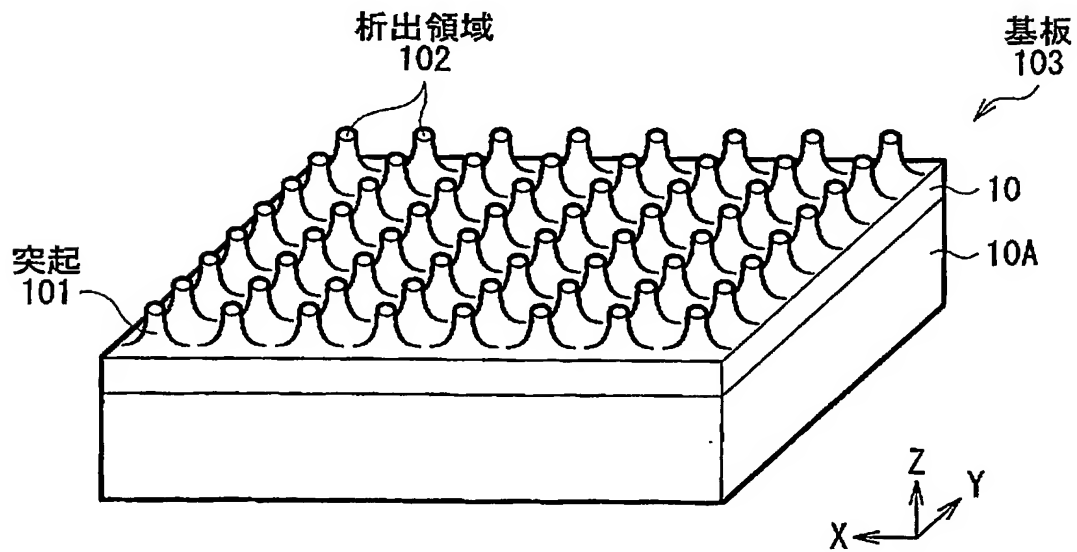
【図 3 2】



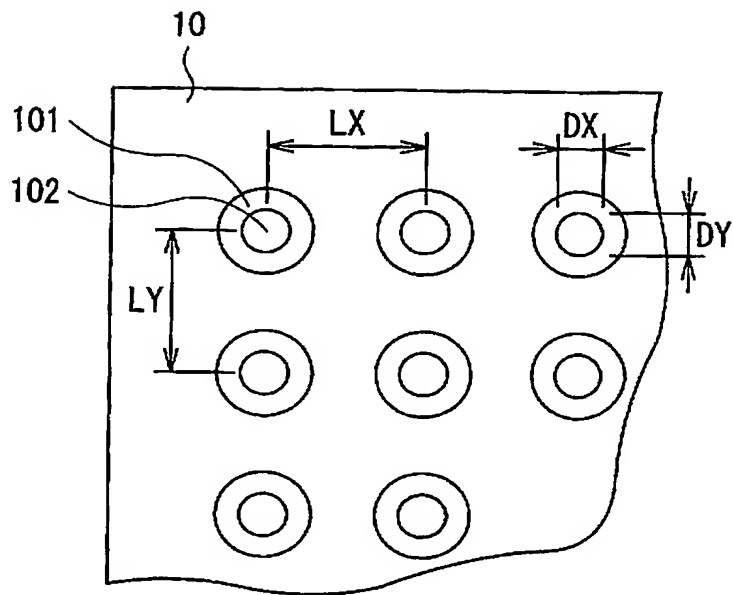
【図 3 3】



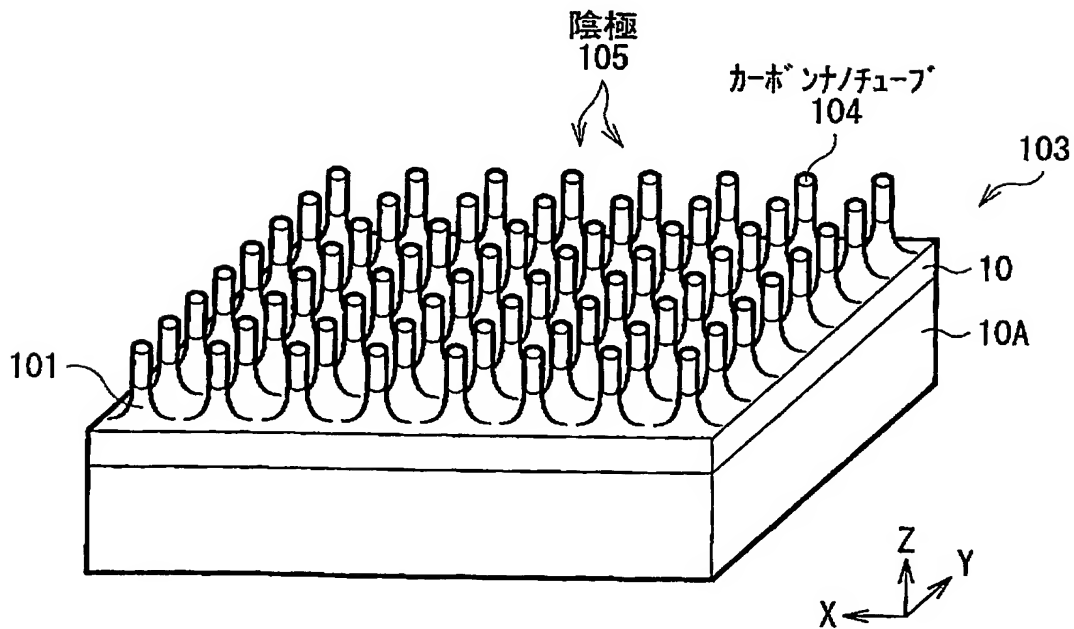
【図 3 4】



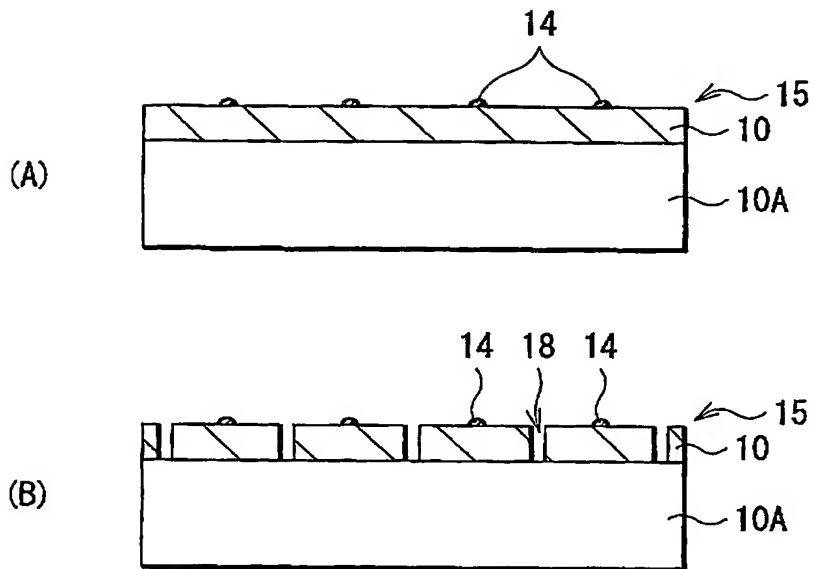
【図 3 5】



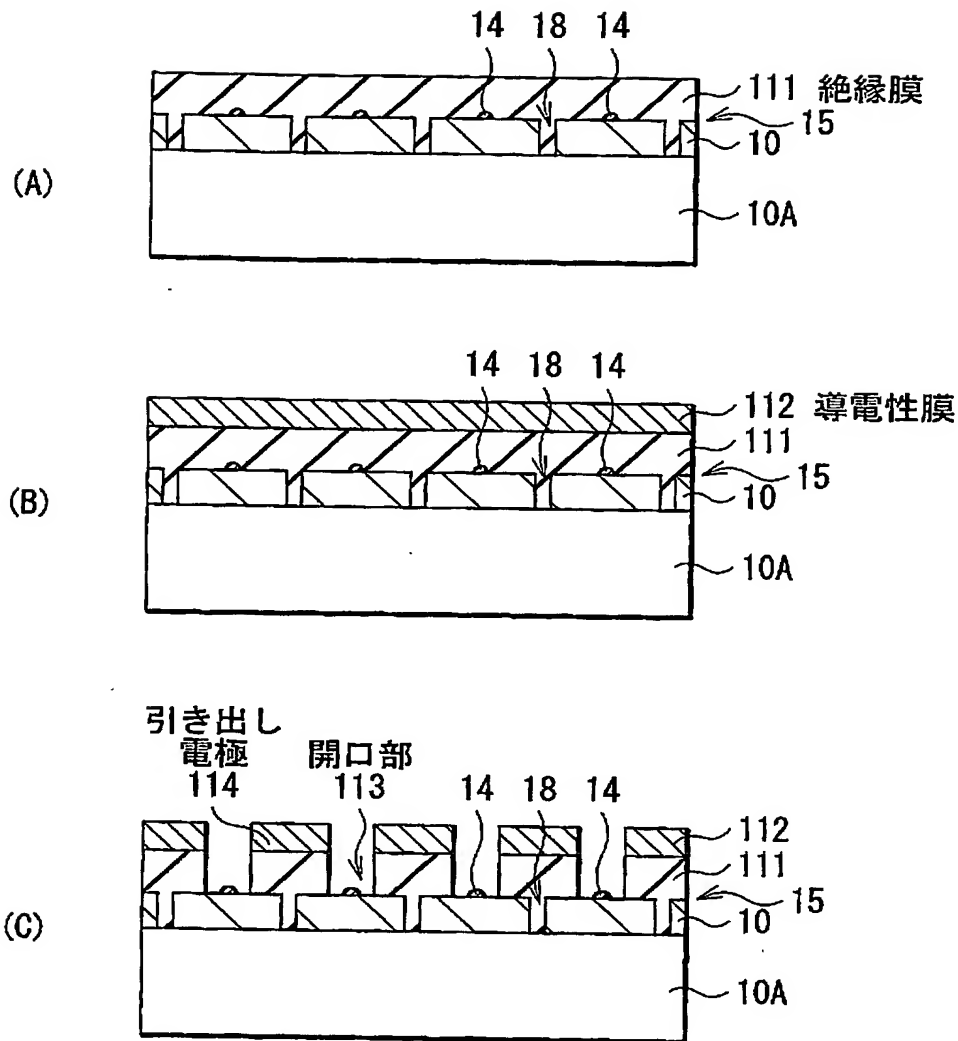
【図 3 6】



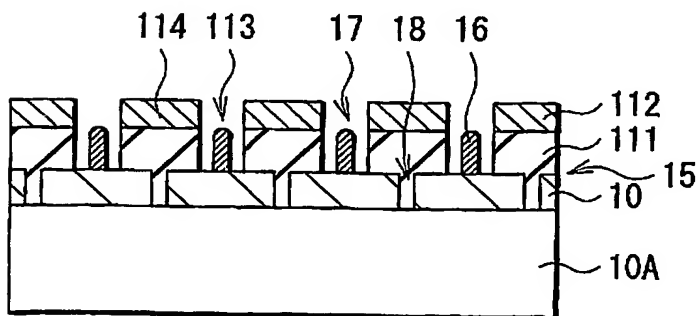
【図 37】



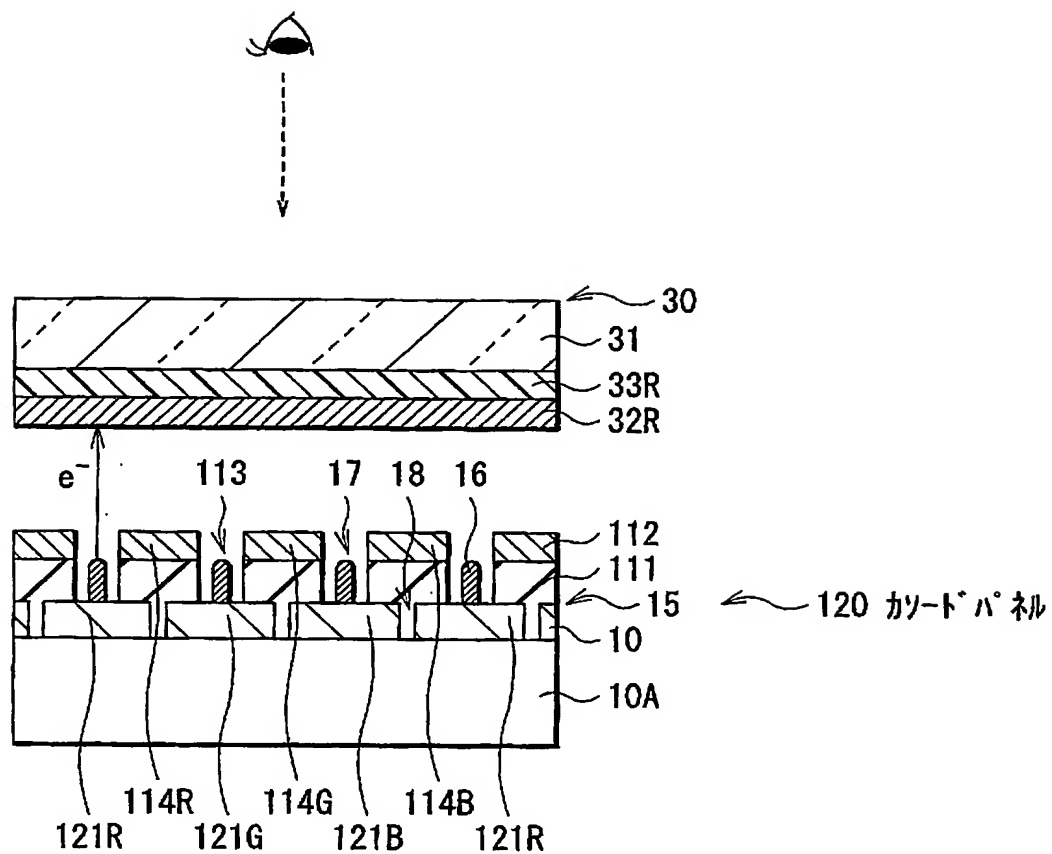
【図 3 8】



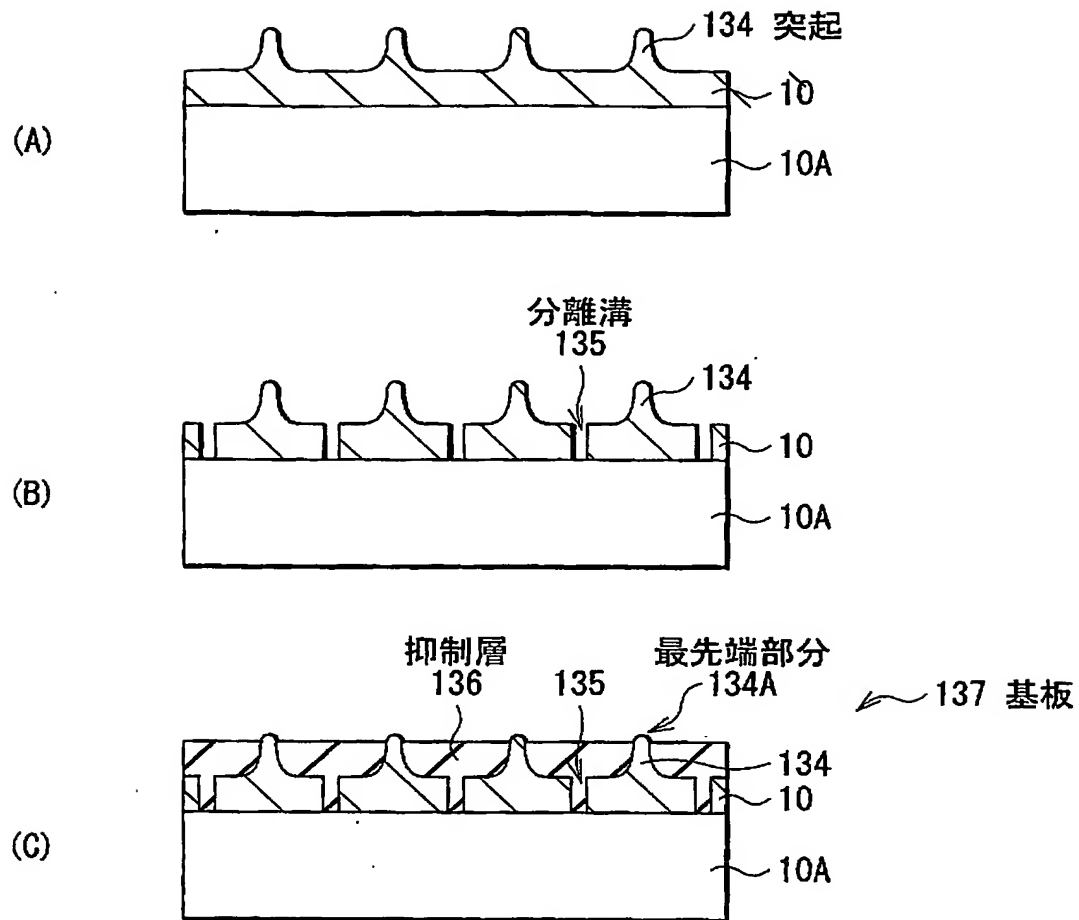
【図 3 9】



【図 40】

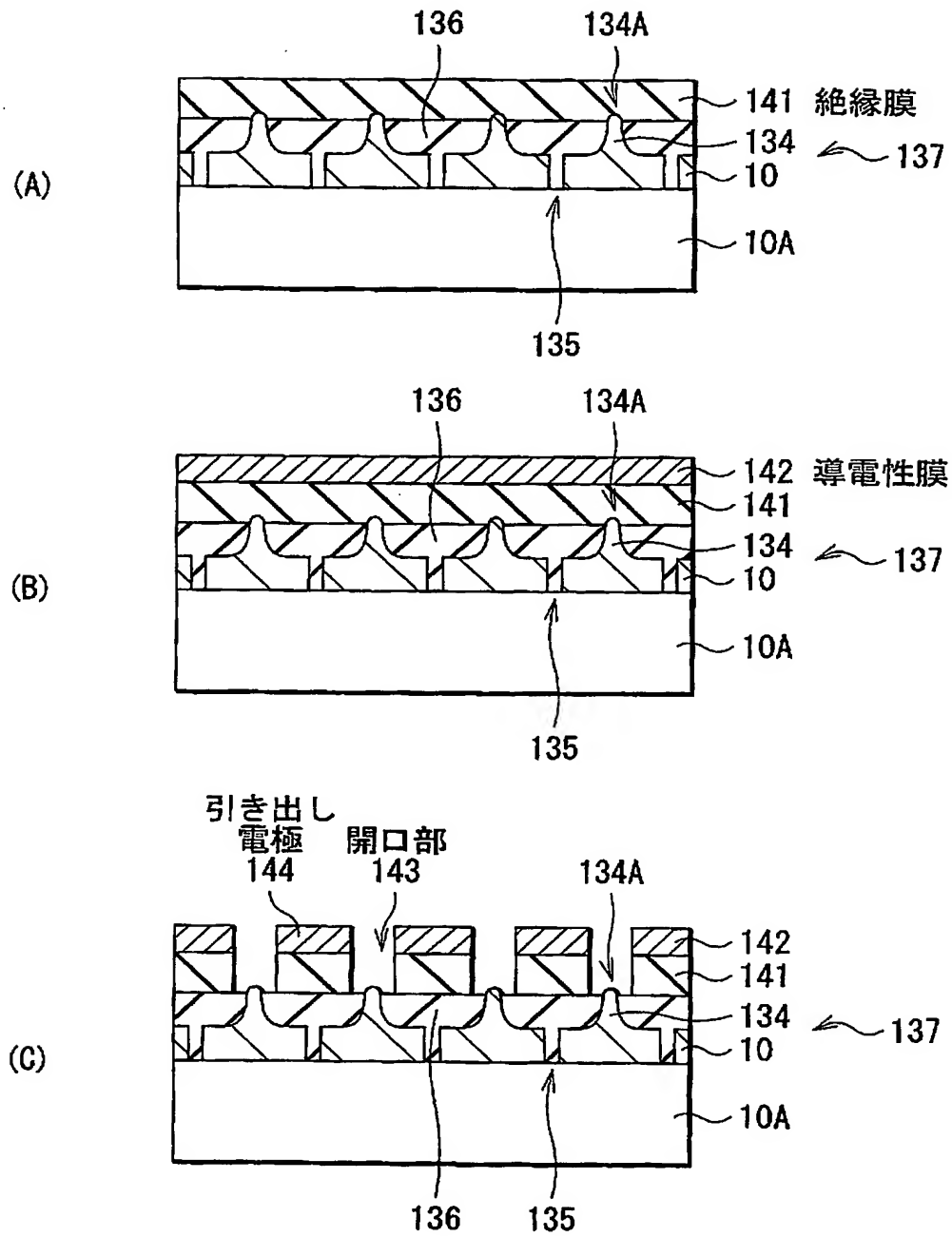


【図 4 1】

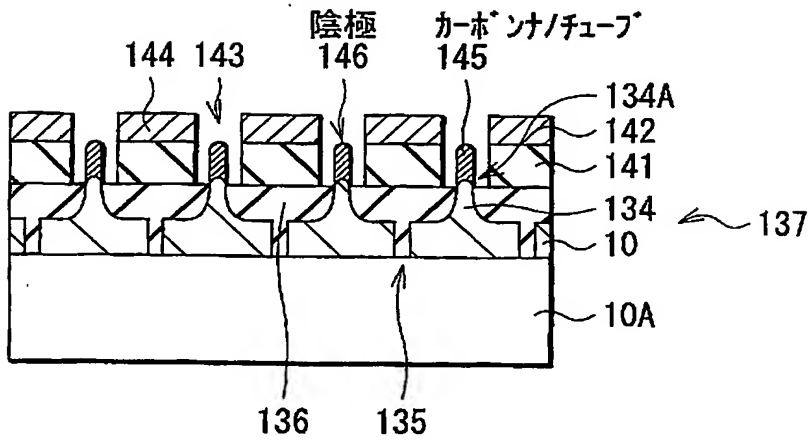




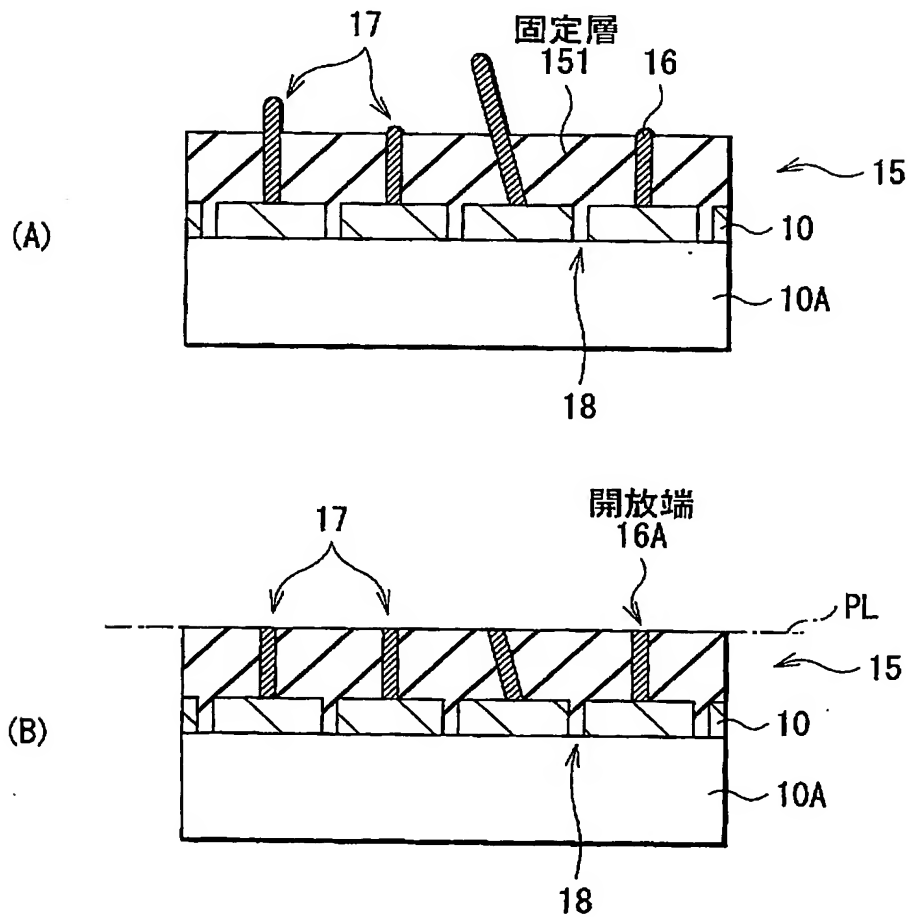
【図 4 2】



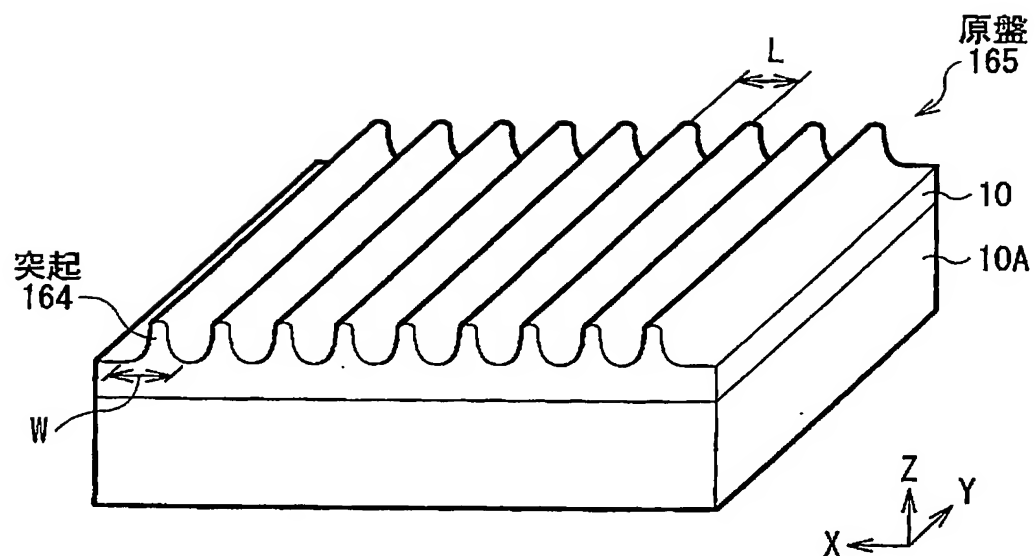
【図 4 3】



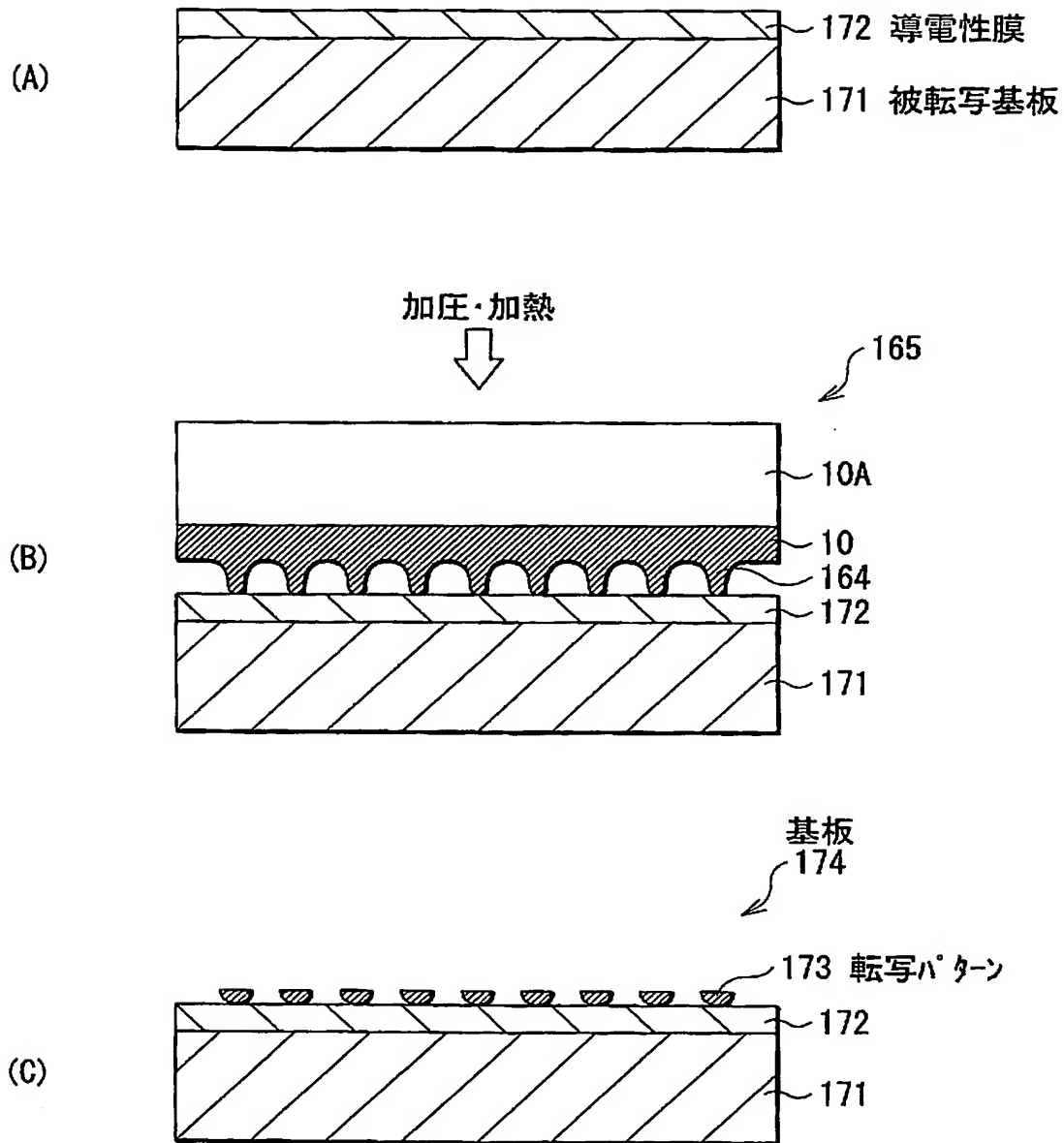
【図 4 4】



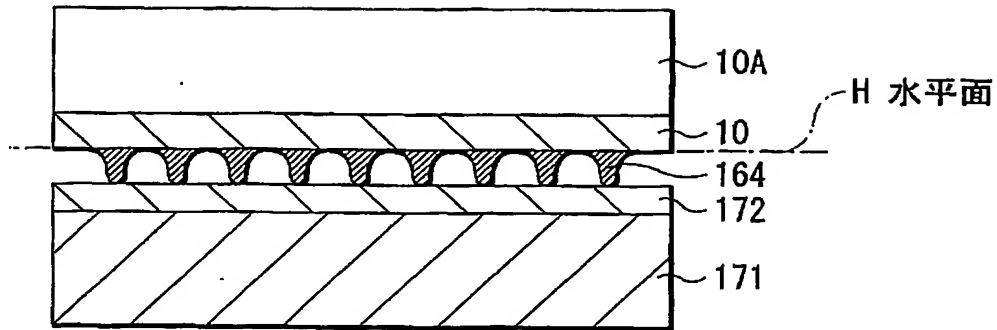
【図 45】



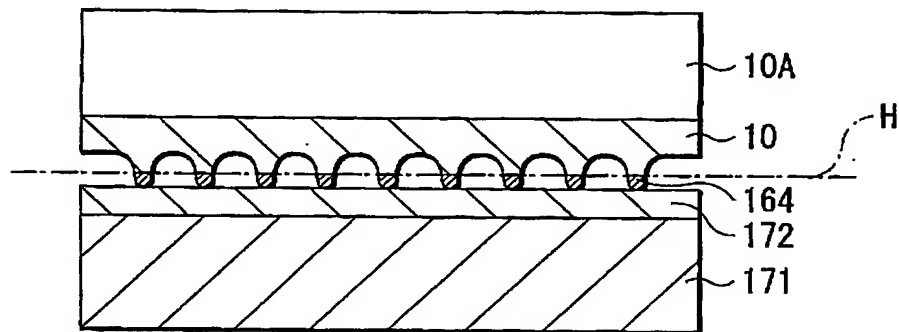
【図 46】



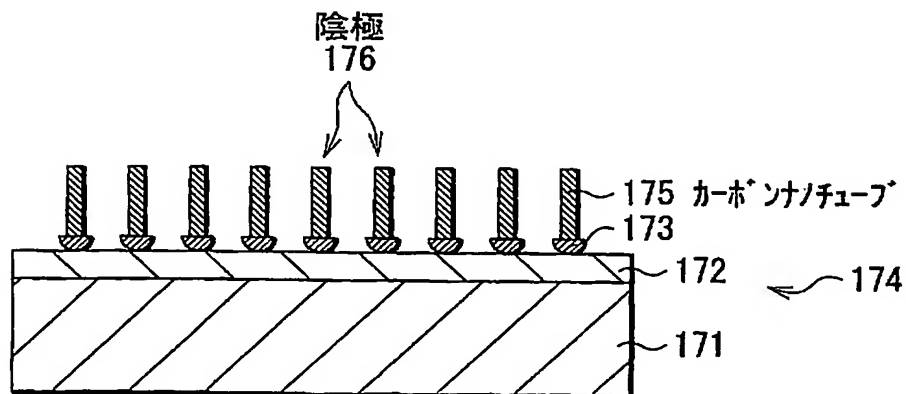
【図 47】



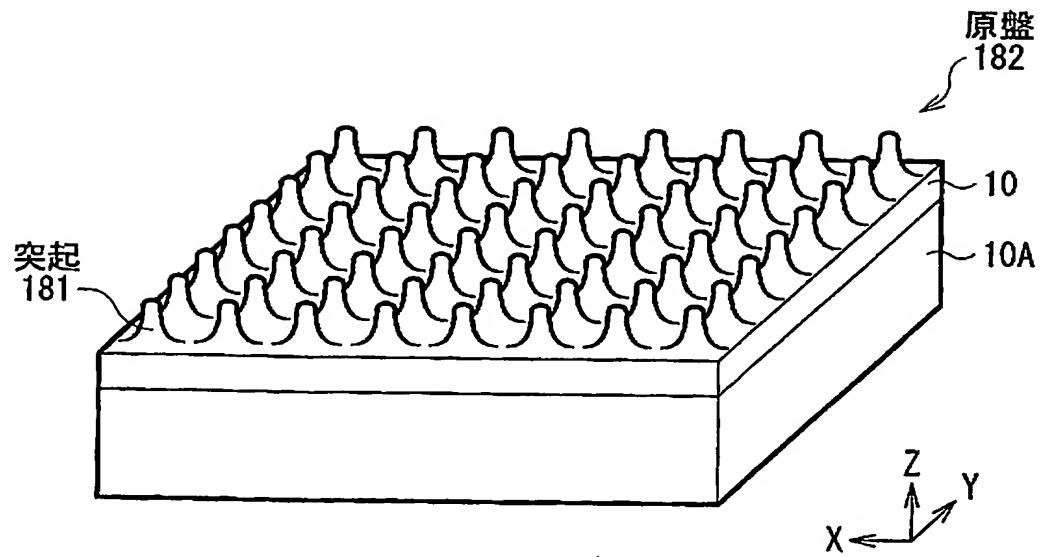
【図 48】



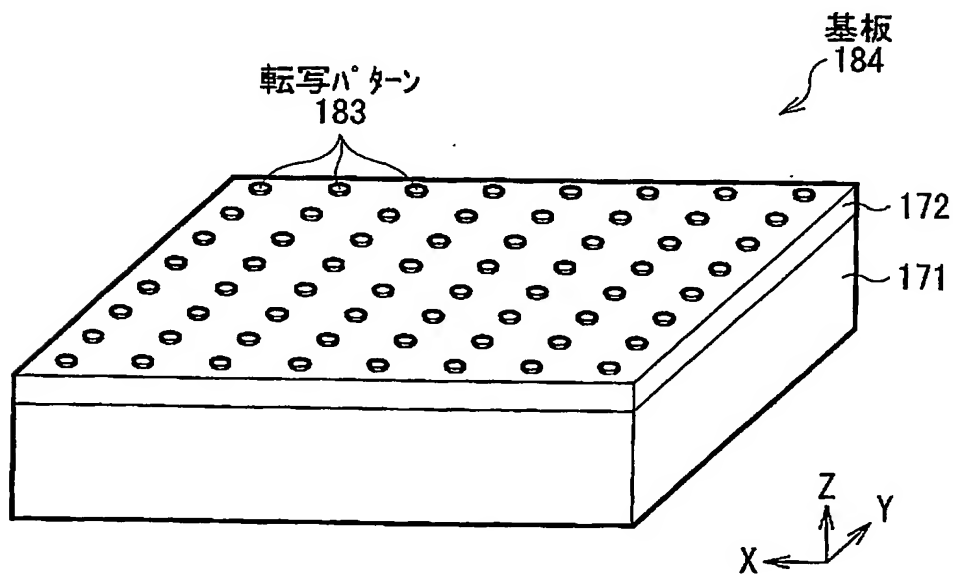
【図 49】



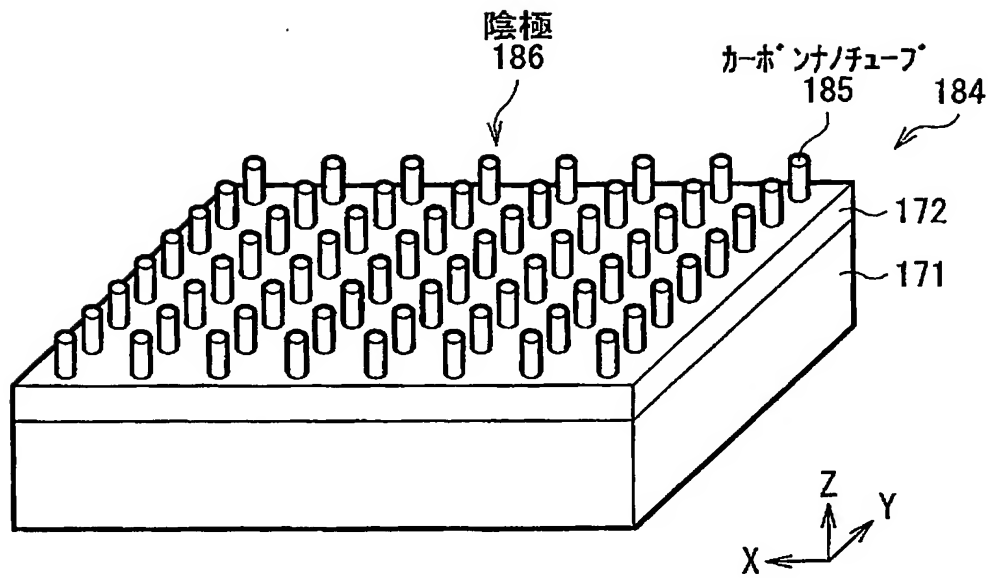
【図 50】



【図 51】



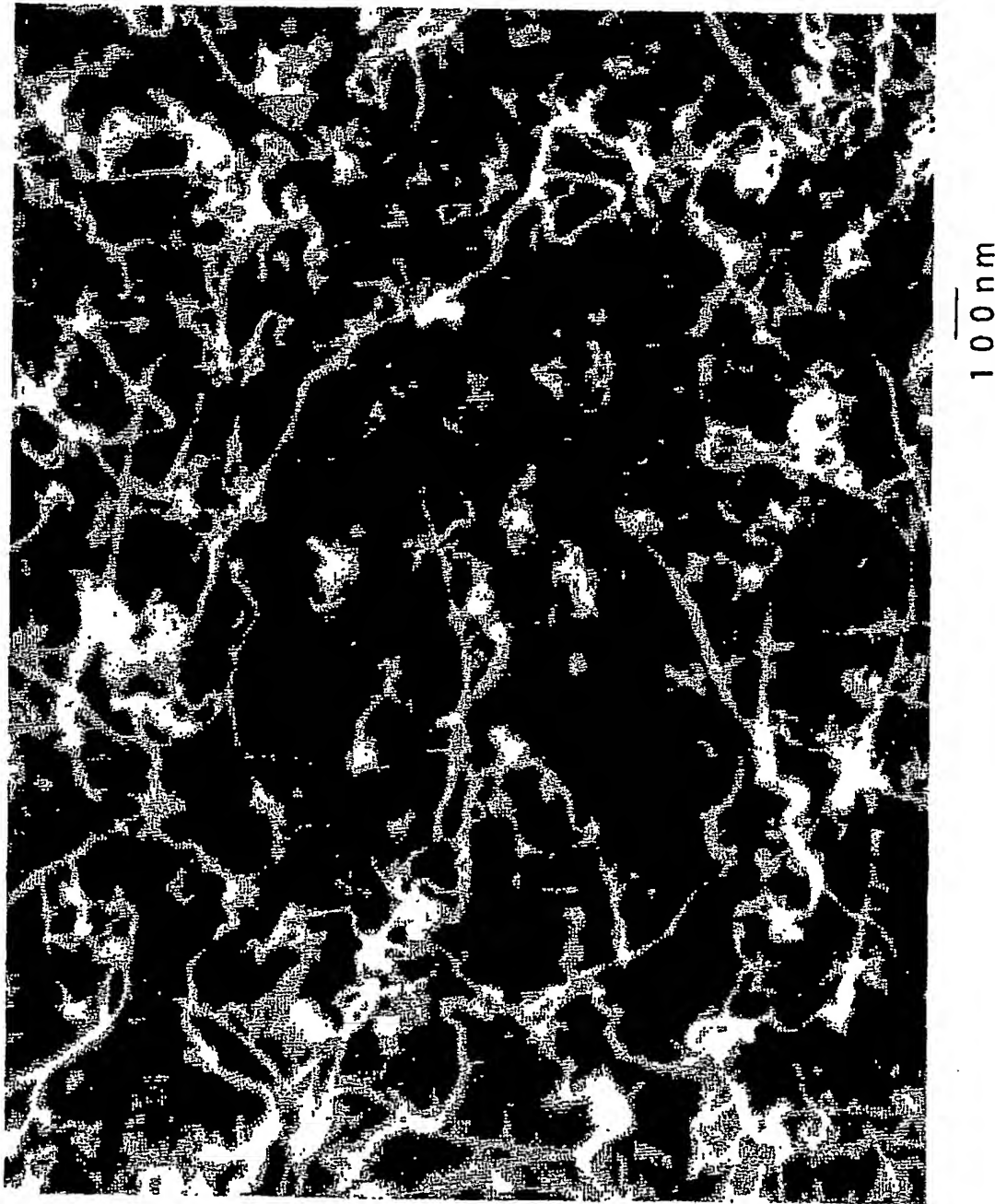
【図 5 2】



【図 5 3】

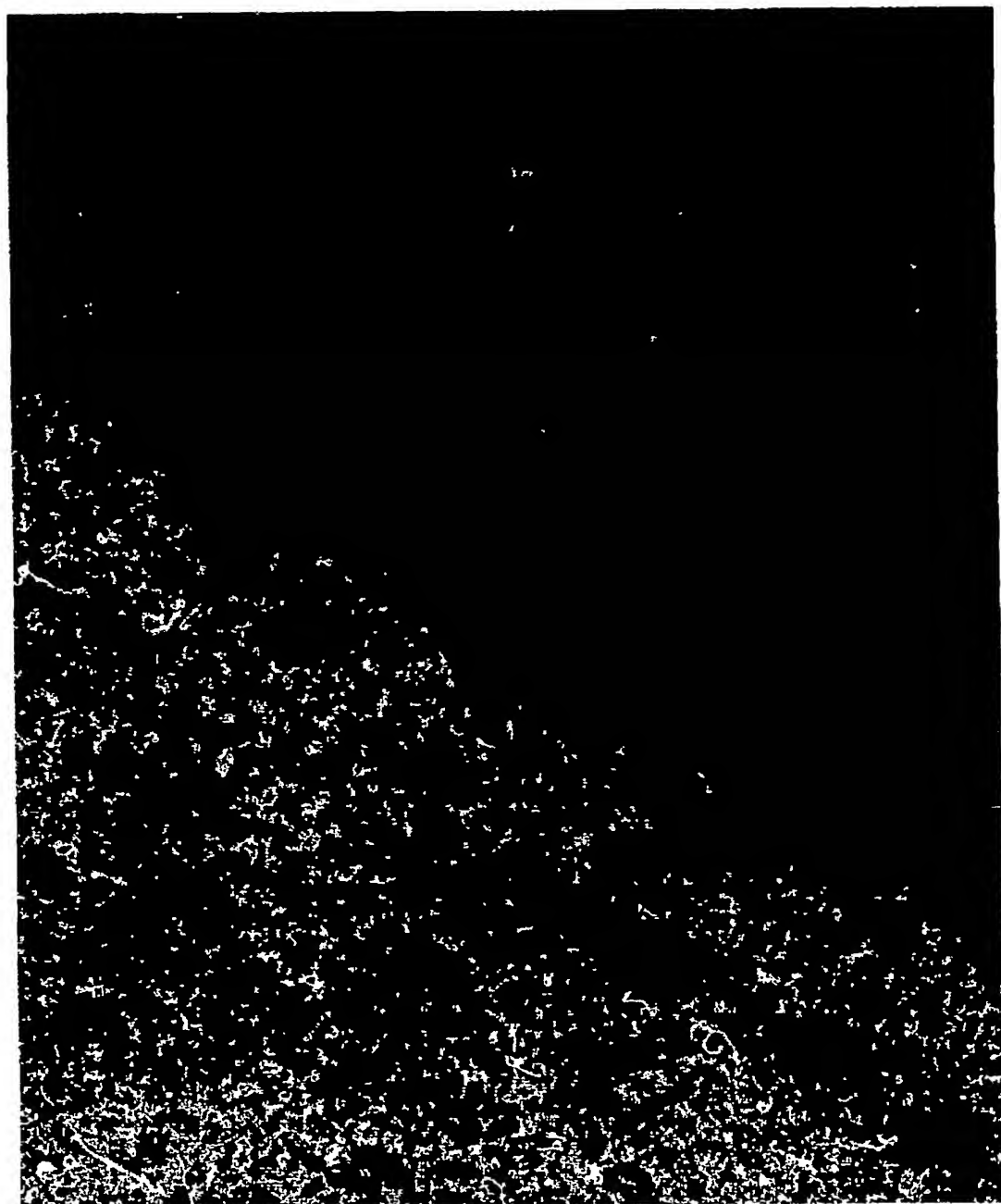


【図 54】

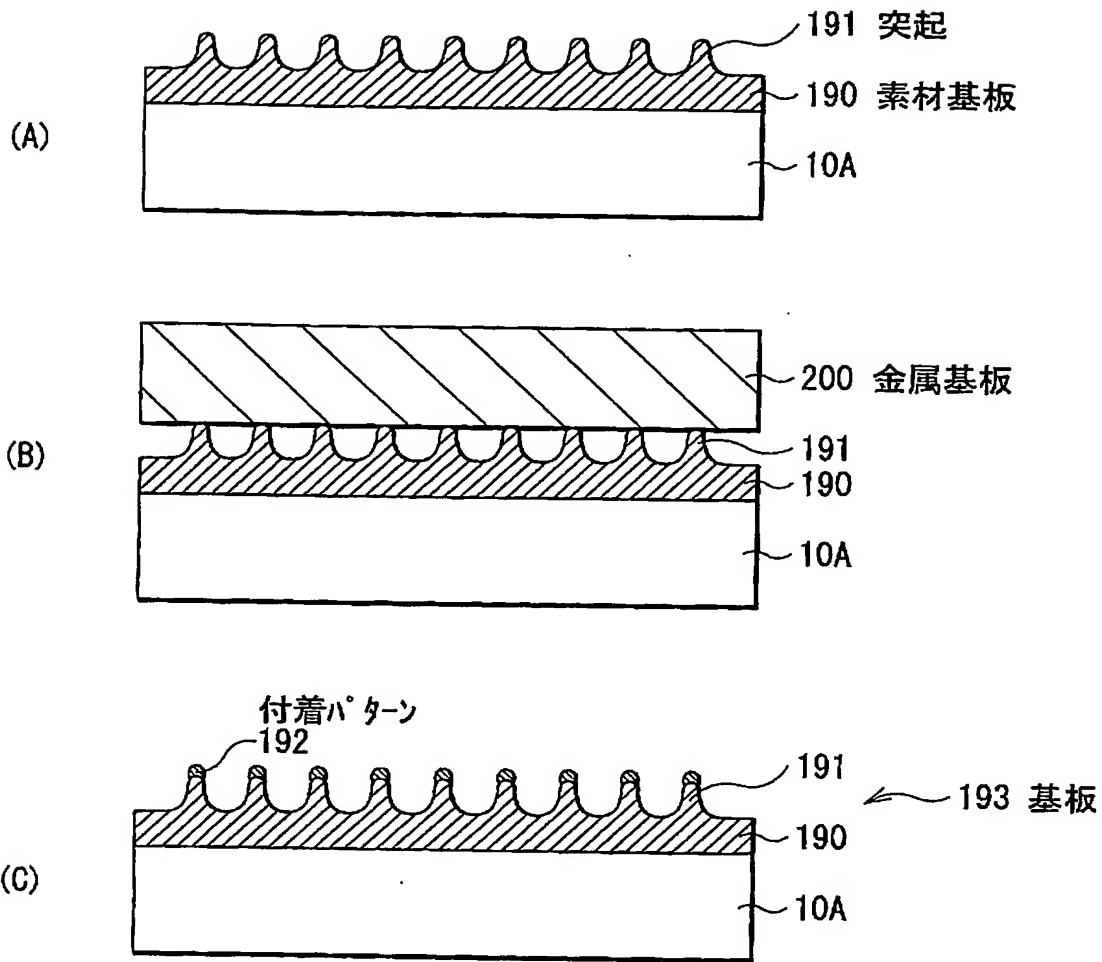




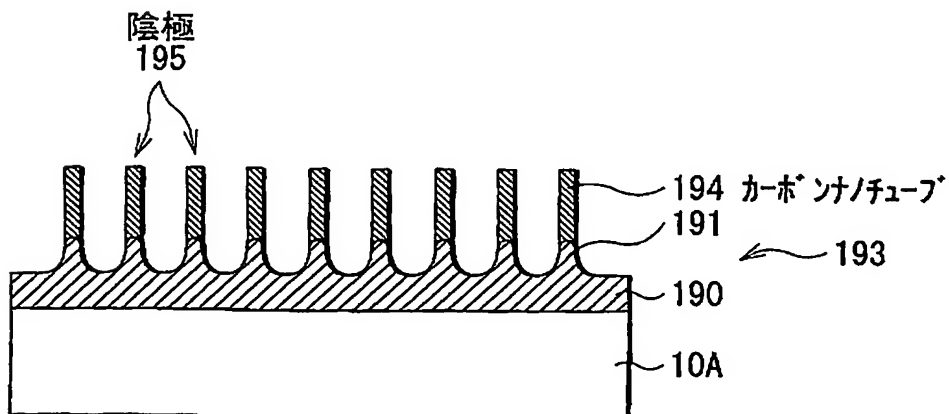
【図 55】



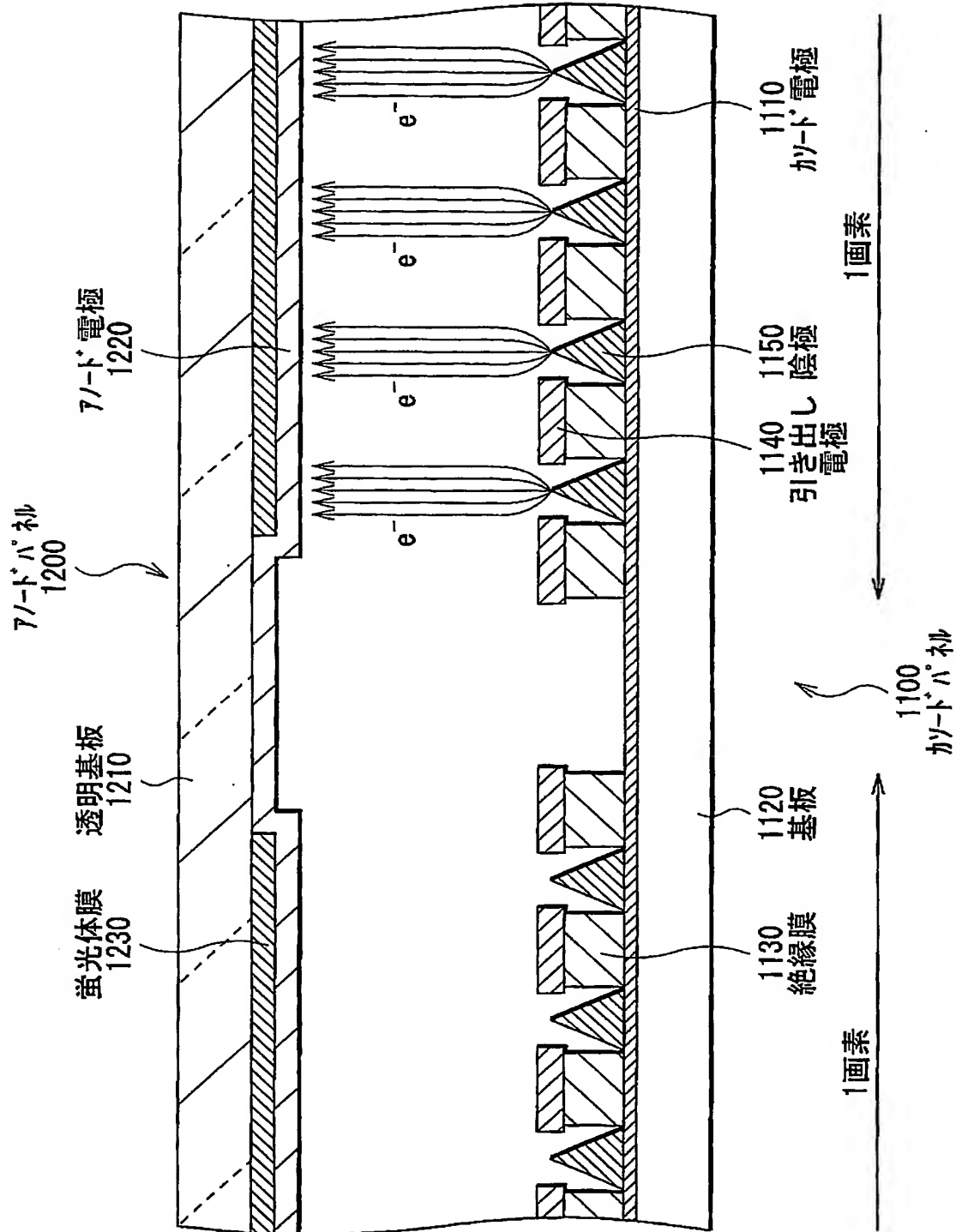
【図 5 6】



【図 5 7】



【図58】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 筒状炭素分子がより微細な間隔で規則正しく配列された陰極を有し、高精細な F E D 等の製造に好適な電界電子放出素子およびこれを用いた表示装置の製造方法を提供する。

【解決手段】 電界電子放出素子が形成されたカソードパネル 2 0 と、蛍光体膜 3 3 R, 3 3 G, 3 3 B が形成されたアノードパネル 3 0 とが対向配置されている。カソードパネル 2 0 の電界電子放出素子は、基板 1 5 の上に所望のパターンで配置されたカーボンナノチューブ 1 6 を有する陰極 1 7 を備えている。カーボンナノチューブ 1 6 は、シリコン (S i) などの半導体からなる第 1 の物質中に、触媒として鉄 (F e) を含む素材基板 1 0 に対して、所望のパターンに応じた熱分布を与え、熱分布に応じた位置に鉄を析出させて、この鉄を触媒として形成したものである。陰極 1 7 は、分離溝 1 8 によって互いに分離されている。

【選択図】 図 6

特願 2003-003773

出願人履歴情報

識別番号

[000002185]

1. 変更年月日

1990年 8月30日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都品川区北品川6丁目7番35号

氏 名

ソニー株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**